

Olavi Kohal

**Tuhkalannoituksen ja heinäntorjunnan vaikutukset puun-  
tuotantoon maataloustuotannosta poistuneella turvepel-  
lolla Pohjois-Pohjanmaalla**

Opinnäytetyö

Kevät 2013

Maa- ja metsätalouden yksikkö

Maaseudun kehittämisen koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Maa- ja metsätalouden yksikkö

Koulutusohjelma: Maaseudun kehittämisen koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Ei ole erillisiä suuntautumisvaihtoehtoja

Tekijä: Olavi Kohal

Työn nimi: Tuhkalannoituksen ja heinäntorjunnan vaikutukset puuntuotantoon maataloustuotannosta poistuneella turvepellolla Pohjois-Pohjanmaalla

Ohjaajat: dosentti Risto Lauhanen (SeAMK), dosentti Jyrki Hytönen (Metla)

Vuosi: 2013

Sivumäärä: 43

Liitteiden lukumäärä: 13

Tutkimusaineisto on kerätty Metsäntutkimuslaitoksen v. 1991 perustamalta peltonmetsityskokeelta Pohjois-Pohjanmaalta. Kokeen käsittelyinä ovat istutusvaiheen puuntuuhkalannoitus 5000 kg/ha, rikkakasvien torjunta sekä puuntuuhkalannoitus ja torjunta yhdessä. Tutkittavat puulajit olivat mänty ja hieskoivu. Työn tavoitteina oli selvittää varhaisen tuhkalannoituksen ja rikkakasvien torjunnan vaikutuksia neulasravinteisiin, kasvuvasteeseen sekä männyn tuhkalannoituksen taloudelliseen kannattavuuteen maataloustuotannosta poistuneella metsitetyllä turvemaan pellolla.

Tulokset osoittavat, että tämäntyyppisellä kasvupaikalla tuhkalannoituksen vaikutusaika on melko lyhyt. Tuhkalannoitus lisää neulasten kalium- ja booripitoisuuksia aluksi. Kuitenkin 21 vuotta lannoituksesta neulasravinteiden määrät ovat laskeneet vertailukoealojen tasolle. Tuhkalannoitus on lisännyt männyn runkotilavuutta tilastollisesti merkitsevästi viiden viimeisen vuoden kasvujakson aikana 2,1 m<sup>3</sup>/ha/v ja 21 vuodessa 1,1 m<sup>3</sup>/ha/v. Rikkakasvien torjunta ja tuhkalannoitus yhdessä lisäsivät männyn tilavuuskasvua viiden vuoden kasvujaksolla 4,6 m<sup>3</sup>/ha/v ja 21 vuodessa 2,7 m<sup>3</sup>/ha/v. Tuhkalannoitus lisäsi hieskoivun vuotuista runkotilavuuden kasvua 21 vuodessa 1,3 m<sup>3</sup>/ha/v. Torjunta- ja tuhkalannoitus yhdessä ovat lisänneet hieskoivun tilavuuskasvua 1,4 m<sup>3</sup>/ha/v. Torjunnalla ja tuhkalannoituksella ei todettu tilastollista yhdysvaikutusta.

Tuhkalannoituksen taloudellista kannattavuutta männyllä tarkasteltiin Metsäntutkimuslaitoksen kehittämällä MOTTI- kasvatusohjelmalla. Kasvatusvaihtoehtoina olivat kontrollikäsittely, yksi tuhkalannoitus ja jatkolannoitus. Metsänkasvatus oli kannattavaa kaikilla kasvatusvaihtoehdoilla. Paras kannattavuus oli tuhkan jatkolannoitus kasvatuksella, jossa nettotulojen nykyarvo oli yli 2000 €/ha 3 % korkokannalla. Jos tulevilla kunnostusojituksilla ja hakkuilla ei voida lisätä tuotosta, niin metsänkasvatus tällä kasvupaikalla ei ole kannattavaa ilman lannoitusta.

Avainsanat: peltonmetsitys, turvepelto, puuntuuhkalannoitus, rikkakasvien torjunta, neulasravinteet, mänty, hieskoivu, nettotulojen nykyarvo

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Faculty:

Degree programme: Degree Programme in Development of Agriculture and Rural Enterprises

Specialisation: Natural resources and the environment

Author/s: Olavi Kohal

Title of thesis: Ash fertilization and weed control wood production effect in afforestation of organic agricultural soil in Northern Finland.

Supervisor(s): docent Risto Lauhanen, docent Jyrki Hytönen

Year: 2013

Number of pages: 43

Number of appendices: 13

The study material has been collected from afforested former agricultural peat soil stands established in 1991 by Finnish Forest Research Institute in Northern-Ostrobothnia. Experimental treatments were a) control, b) wood ash fertilization 5000 kg/ha, c) weed control, d) wood ash and weed control together. Scots pine and *Betula pubescens* seedlings were planted in the spring 1991. In this thesis the effect of wood ash fertilization, weed control, growth, foliar nutrients and profitability on former cultivated peat soil was studied.

The results show that the effect of wood ash fertilization lasts in this kind of sites shorter time than reported from peatland forests. Initially wood ash increased potassium and boron concentrations in the needles. However, after 21 years they had decreased to the level observed control treatment. However, ash fertilization has significantly increased the volume of Scots pine stemwood. Increase in the last five year period was 2.1 m<sup>3</sup>/ha/a and in 21 years 1.1 m<sup>3</sup>/ha/a. Weed control and ash fertilization together have increased volume in the last five year's period by 4.6 m<sup>3</sup>/ha/a and in 21 years by 2.7 m<sup>3</sup>/ha/a. Wood ash fertilization has increased the volume of *Betula pubescens* by 1.3 m<sup>3</sup>/ha/a in 21 years. Weed control and ash fertilization together have increased volume by 1.4 m<sup>3</sup>/ha/a. Ash fertilization and weed control did not have a significant interaction.

Profitability of wood ash fertilization was studied by MOTTI- simulation program developed by Finnish Forest Institute. Control, onetime ash fertilization and refertilization were used as growing alternatives. Forestry was cost-effective in all alternatives. Most cost-effective was refertilization growing program. Net increase was over 2000 €/ha by 3 % rate of interest. If drainage maintenance and intermediate fellings do not increase production, forestry is not cost-effective in this kind of sites without fertilization.

Keywords: wood ash, weed control, foliar nutrients, Scots pine, downy birch, profitability

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	7
1 JOHDANTO .....	8
1.1 Peltoalan muutoksia Suomessa .....	8
1.2 Turvepeltojen ominaisuudet puiden kasvualustana.....	10
1.3 Pintakasvillisuus.....	12
1.4 Turvemaiden tuhkalannoitus .....	13
1.5 Työn lähtökohdat ja tavoitteet .....	15
2 AINEISTO JA MENETELMÄT.....	17
2.1 Tutkimuskohde.....	17
2.2 Koejärjestelyt.....	18
2.3 Aineiston keruu .....	19
2.4 Aineiston laskenta ja jatkokäsittely .....	20
2.5 Aineiston tilastollinen jatkokäsittely .....	21
2.6 Puuston kehityssennusteita MOTTI-ohjelmistolla .....	21
3 TULOKSET .....	25
3.1 Neulasten ravinnepitoisuudet ja maan ravinnemäärät .....	25
3.2 Käsittelyiden vaikutus puustotunnuksiin .....	27
3.2.1 Männyn kasvu.....	27
3.2.2 Hieskoivun kasvu .....	30
3.2.3 MOTTI- simulointi.....	33
4 TULOSTEN TARKASTELU.....	36
LÄHTEET .....	39
LIITTEET .....	43

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Pellonmetsityksen- ja raivauksen vuotuiset pinta-alat 1969 – 2009 .....	8
Taulukko 1. Eri turvelajien N, CaO ja pH Mauno J. Kotilaisen 1935 mukaan.....	11
Kuvio 2. Muokkausjälki näkyvissä kuusen istutusruudulla. Kuva (Metla) vuodelta 1991.....	16
Taulukko 2. Vuolijoen kokeelle levitetyt ravinnemäärät kg/ha 5000 kg:n tuhkamäärällä.....	17
Taulukko 3. 21 vuotta metsityksen jälkeen laskettuja puustotunnuksia Vuolijoen kokeelta.....	22
Taulukko 4. Simuloinnissa käytetyt puutavaran hinnat €/m <sup>3</sup> .....	23
Taulukko 5. Turpeen Ph, tuhkapitoisuus, tiheys ja helppoliukoiset (Aas) sekä kokonaisravinnemäärät kontrolliruuduilla 0-10 ja 30-40 cm:n syvyydellä.....	24
Kuvio 3. Eri käsittelyiden vaikutus ja tilastolliset merkitsevyydet neulasten kalium- ja booripitoisuuksiin. Keskihajonta merkitty virhepalkilla.....	25
Kuvio 4. Vesakkotuhoille altistuneiden männyn taimien osuus ja tilastolliset merkitsevyydet eri käsittelyillä 16 vuotta istutuksesta.....	26
Kuvio 5. Männyn keskipituuden kehitys ja tilastolliset merkitsevyydet 21 vuotta istutuksesta.....	27
Kuvio 6. Männyn runkotilavuuden keskimääräinen vuotuinen kasvu 2006-2011 ja tilastolliset merkitsevyydet eri käsittelyillä. Keskihajonta on merkitty virhepalkilla.....	29
Kuvio 7. Käsittelyiden vaikutus männyn runkotilavuuteen ja pojpinta-alaan sekä tilastolliset merkitsevyydet eri käsittelyillä 21 vuotta istutuksesta. Keskihajonta merkitty virhepalkilla.....	30
Kuvio 8. Hieskoivun keski- ja valtaläpimitat, keski- ja valtapituudet sekä tilastolliset merkitsevyydet eri käsittelyillä 21 vuotta istutuksesta. Keskihajonta merkitty virhepalkilla.....	31
Kuvio 9. Käsittelyiden vaikutus hieskoivun runkotilavuuteen ja pohjapinta-alaan sekä tilastolliset merkitsevyydet eri käsittelyillä 21 vuotta istutuksesta. Keskihajonta merkitty virhepalkilla.....	32

Kuvio 10. Pohjapinta-alan kehitys MOTTI-ohjelmalla eri kasvatusvaihtoehtoilla..34

Kuvio11. Nettotulojen nykyarvo 3 % korkokannalla eri kasvatusvaihtoehtoilla....35

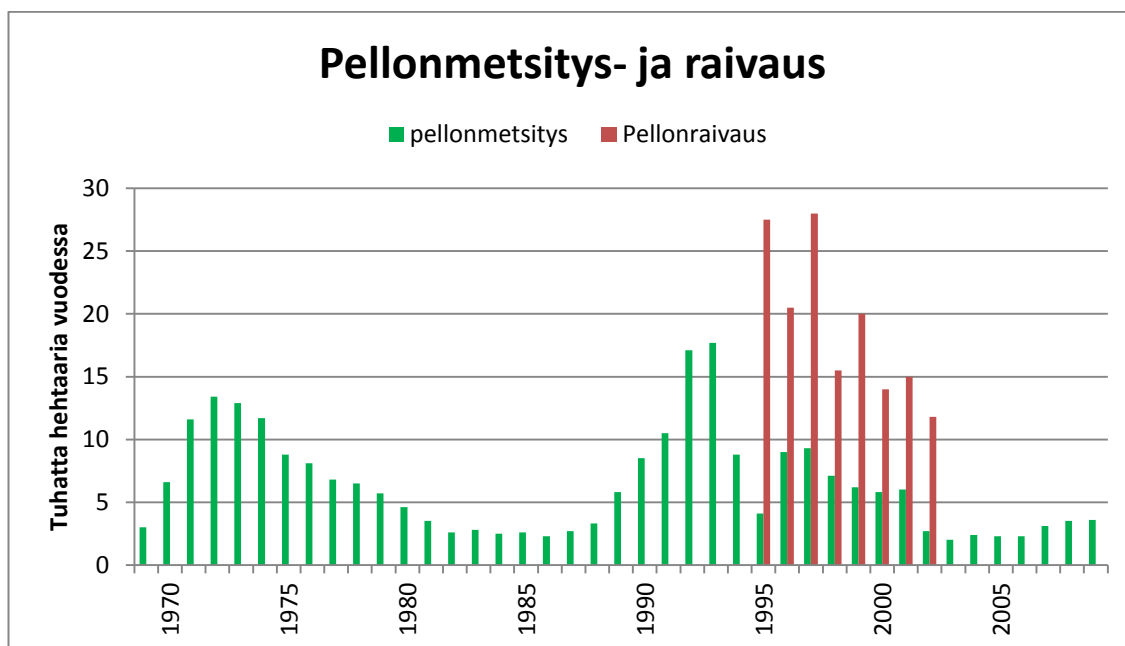
## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Diskonttaus</b>	Tulevien tulojen ja kustannusten nykyarvoon muuntaminen.
<b>Faktori</b>	Tekijä, joka vaikuttaa tutkittavaan ilmiöön. Faktoriaalisessa koejärjestelyssä voidaan analysoida yksittäisiä faktoreita ja niiden yhdysvaikutuksia.
<b>H<sub>100</sub>- pituusboniteetti</b>	Metsikön valtapituus kyseisellä kasvupaikalla 100 vuoden ikäisenä.
<b>Keskipituus</b>	Metsikön aritmeettisesti laskettu puiden keskipituus.
<b>Nettotulojen nykyarvo</b>	Kustannukset ja tulot diskontataan nykyhetken arvoiksi tietyllä korkokannalla.
<b>PPA (pohjapinta-ala)</b>	1,3 metrin korkeudelta puiden poikkileikkauspinnan yhteenlaskettu pinta-ala m <sup>2</sup> /ha.
<b>Runkotilavuus</b>	Kaikkien puiden yhteenlaskettu runkopuun tilavuus m <sup>3</sup> /ha.
<b>Satunnaiset lohkot</b>	Koeyksiköt jaetaan lohkoihin. Kunkin lohkon sisällä pääfaktorian arvot ovat satunnaisessa järjestyksessä.
<b>Valtapituus</b>	Metsikön sadan (joskus 10%) pisimmän puun keskipituus.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Peltoalan muutoksia Suomessa

Vuonna 2011 käytössä oleva peltoala Suomessa oli 2,3 miljoonaa hehtaaria (Maailman maataloustilastot. 10.1.2012). Pellonmetsityksen tukeminen julkisin varoin aloitettiin Suomessa vuonna 1969 kun pakettipeltojen metsitys tuli mahdolliseksi metsänparannusvaroin. Vuoteen 2009 mennessä peltoja oli metsitetty yhteensä noin 260 000 ha (Metsäntutkimuslaitos. Metsätilastollinen vuosikirja 2011). Suomen peltopinta-ala laski 1990-luvun alkuun asti, jonka jälkeen pellonmetsityspinta-alassa on tapahtunut vain vähän muutoksia (kuvio 1). Peltoalaa pienentävät pellonmetsitys ja rakentaminen. Pellonraivauksella on lisätty peltopinta-alaa 1990-luvun puolivälistä alkaen vuoteen 2003 keskimäärin 15 000 – 25 000 ha/v (Luonnontila.fi. Peltojen raivaus ja metsitys. 5.1.2010). Kaksituhattaluvun alkupuolelta lähtien pellonraivaus pinta-alat ovat pienentyneet. Tämä johtuu lähinnä Euroopan Unionin ympäristötukikelpoisuuden rajoitteista. Pellonmetsitys on 2000-luvulla vaihtunut alle 5000 hehtaarin vuositasolle (kuvio 1).



Kuvio 1. Pellonmetsityksen- ja raivauksen vuotuiset pinta-alat 1969 – 2009



Turvepeltoja lasketaan nykyisin olevan 260 000 ha eli hieman yli 10 % viljelyksessä olevasta peltoalasta (M. Myllys 2011). Turvepelloiksi luokitelluilla pelloilla 96 prosentilla turvesyvyys oli yli 30 cm. Turvepeltojen osuus maatalouden kasvihuonekaasujen päästöistä Suomessa on 50 %. Suomi on ainoa EU:n jäsenvaltio, jossa turvemaiden osuus peltopinta-alasta on nousussa. Tämän seurauksena maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen on pysähtynyt. (Ympäristövaliokunnan lausunto 11/2011, 6). Suurin syy peltojen raivaukseen on kotieläintilojen tarve saada lanta levitettyä johonkin. Ilmastönäkökulmasta turvepeltojen määrää pitäisi vähentää. Erilaisilla tukijärjestelmillä voidaan rajoittaa turvepeltojen raivautta. Nurmiviljely on myös tehokas tapa rajoittaa kasvihuonepäästöjä. Perinteisesti peltoja on metsitetty maatalouden tuotannon rajoittamiseksi. Kioton ilmastopöytäkirjassa maatalousmaan metsitys luetaan kuuluvaksi metsämaan pinta-ala muutokseen (Tilli & Toivonen 2000, 5). Tämä antaa peltojen metsittämiselle uuden näkökulman. Kasvava puusto sitoo hiilidioksidia ja maatalouskäytön kasvihuonekaasut jäävät syntymättä.

Peltojen vuotuiset metsityspinta-alat vuodesta 1969 ovat vaihdelleet voimakkaasti (kuvio 1). Muutokset ovat olleet sidoksissa maksettavien tukien tasoon. Tällä hetkellä kestävän metsätalouden rahoitustuella korvataan pellonmetsityksen kaikki materiaalikustannukset sekä tukiväyhykkeestä riippuen osa muista kustannuksista (Metsä vastaa.net. Tuet taulukkona- metsänuudistaminen 23.12.2011). Kemerialaki on uudistumassa. Uusi laki tulee voimaan todennäköisesti vuoden 2013 aikana. Tuettavista työlajeista on jäämässä pois pellonmetsitys. Näillä asetelmilla pellonmetsitys pinta-alat eivät ainakaan lähivuosina tule kasvamaan. Historia on kuitenkin osoittanut, että tilanne saattaa muuttua. Tällaisina muutostekijöinä (Tilli & Toivonen 2000, 25) voisivat tulla kysymykseen tulonmenetyskorvaukset kuten vuosina 1995 -1999. Pellonmetsitys voidaan hyväksyä luopumistukiohjelmaan yhdeksi luopumistavaksi. Turvepeltojen metsitystä voidaan alkaa myös tukea ilmastoyrityksistä. Erilaisista skenaarioista huolimatta pellonmetsitys Suomessa jatkuu ja enenevässä määrin osa siitä kohdistuu turvepelloille.

## 1.2 Turvepeltojen ominaisuudet puiden kasvualustana

Geologiassa suo määritellään suokasvien maatumisesta muodostuneeksi turvekerrostumaksi, jonka paksuus on yli 30 senttimetriä ja tuhkapitoisuus alle 40 %. Biologisen suomääritelmän mukaan suo on sellainen maastokuvio, jossa kivennäismaata peittävä orgaaninen maalajikerros on turvetta tai jonka aluskasvillisuudesta 75 % on turvetta muodostavaa kasvillisuutta. (Wikipedia, Suo. Eino Lappalainen ym: Turvetutkimusten maasto-opas 1984. [Viitattu 30.1.2012]). Suomen suoala on noin 10 miljoonaa hehtaaria, josta puolet on geologisen määritelmän mukaan soita. Alkuperäisestä suoalasta on muutettu pelloksi noin 7 %. Soita on hyödynnetty pisimpään maanviljelykseen (Myllys & Soini 2008, 56-66). Suurin osa viljelykseen otetusta suosta on muuttunut multa- tai kivennäismaaksi tai metsitetty. Maataloudessa maalaji luokitellaan turpeeksi, jos kuivapainosta vähintään 40 % on orgaanista ainesta. Orgaanisen aineksen määrän ollessa 20-39 % luokitellaan maalaji multamaaksi ja kivennäismaaksi jos orgaanisen aineksen osuus on alle 20 %. Maalajimuutokset turvepelloilla ovat voineet johtua alunperin ohutturpeisesta suotyypistä, turvekerroksen kulumisesta tai viljelytekniikoista. Tuhatkuusisataaluvulta alkaen noin kolmensadan vuoden ajan Suomessa oli käytössä ns. kytöviljely, jossa suon pintakerros poltettiin. Ravinnemäärät riittivät yleensä kahteen viljasaatoon. Tämän jälkeen pelto jätettiin heinittymään niityksi. Toinen turvetta multamaaksi muuttava viljelytekniikka on ollut painomaan lisääminen. Painomaana käytettiin savea tai hiekkaa ja sillä lisättiin maan tiheyttä, parannettiin kantavuutta ja ravinne- ja lämpötaloutta.

Pellon historia vaikuttaa siis oleellisesti maan ominaisuuksiin. Turvepelloilla alkuperäinen suotyyppi määrää ainakin viljelyn alkuvaiheessa pellon ravinteisuuden tason. Yleensä pellot on raivattu viljavimmista metsämaista. Pelkästään maan ravinnemääriä tarkasteltaessa pellot kuuluvat metsämaiden viljavimpiin luokkiin (Wall, A.1998, 443-450). Parhaimpien pellonraivaus kohteiden vähentyessä sekä lannoitus- ja maanparannustekniikoiden edistyessä on viljelykseen raivattu myös karumpia kasvupaikkoja. Myös lisääntyvän väestön ravinnon tarpeen tyydyttäminen tapahtui 50-luvulle asti peltoalaa lisäämällä. Viljely ei ole ollut kovin tuottoisaa

karuimmilla kasvupaikoilla ja niiden tuottokyky on perustunut vain monipuoliseen lannoitukseen (Saarela, I. ym. 2008, 2).

Peltojen, ennen kaikkea turvepeltojen ravinnetalous poikkeaa metsämaiden ravinnetaloudesta (Hytönen, J & Ekola, E 1993, 3). Maan ominaisuuden muutokset voivat olla fysikaalisia, biologisia tai yhdistelmä molempia. Peltojen lannoitukset lisäävät maan ravinteisuutta. Ravinteet saattavat kuitenkin olla puiden kasvatuksen kannalta epätasapainossa. Ravinneperäiset kasvuhäiriöt ovat pellonmetsitysalueilla yleinen ongelma (Hytönen, J. 1991a, 18-30. 1991b, 22-28. Hytönen & Ekola 1993, 26). Kasvuhäiriöt turvepelloilla liittyvät usein typen runsauteen ja boorin niukkuuteen. Metsitetyillä turvemaan pelloilla typen kokonaismäärä ei yleensä rajoita puiden kehittymistä (Hytönen & Ekola 1993, 6). Metsäntutkimuslaitoksessa aloitettiin v. 1990 laaja pellonmetsitystutkimus (Ferm ym. 1993). Kokeita perustettiin käytännön pellonmetsitysalueille eri puolille Suomea yhteensä 50 kohteeseen. Tutkimuksen mukaan kivennäismaan peltojen pintakerroksen (0–10 cm) kokonaistypen määrä oli 2700 kg/ha. Turvepelloilla kokonaistypen määrä oli 4600 kg/ha (Hytönen & Polet 1995, 15). Metsämaan kivennäismailla kokonaistypen määrä on keskimäärin 1000 – 2500 kg/ha kasvupaikasta riippuen. Typeä lukuun ottamatta ravinteiden määrät olivat kivennäismailla korkeammat kuin turvemailla. Turvemaan pellot ovat yleensä melko happamia. Pellonmetsityksineistossa turvepeltojen pH oli keskimäärin 4,6 mitattuna maan pintakerroksesta (0-10 cm). Kivennäismaiden pH samassa aineistossa oli 5,5 (Hytönen & Polet 1995, 15). Sarojen, rahkasammalten ja ruskosammalten osuus turpeessa määrää turvejain (Kotilainen, M. 1935, 201). Eri turvelajien typpi- ja kalsiumpitoisuus, sekä pH vaihtelevat (Taulukko 1). Happamasta maasta kasvien on vaikeampi saada ravinteita. Typpi ja fosfori ovat turpeessa orgaanisesti sitoutuneita. Ravinteet vapautuvat kasvien käyttöön mikrobitoiminnan tuloksena. Menestyäkseen mikrobit tarvitsevat lämpöä, happea, ravintoa, kosteutta ja sopivan pH:n. Useista näistä tekijöistä saattaa olla puutetta metsitettävillä turvepelloilla.

Turvelaatu	Typpi (N) %	Kalkki (CaO) %	pH
Rahkaturve	1	0,3	3,4
Sararahkaturve	1,4	0,8	4,1
Rahkasaraturve	1,7	1,1	4,8
Saraturve	2,3	1,5	4,9
Ruskosammal- saraturve	2,1	2,7	5,8

Taulukko 1. Eri turvelajien N, CaO ja pH Mauno J. Kotilaisen 1935 mukaan.

### 1.3 Pintakasvillisuus

Sekä kivennäis- että turvemaiden pellonmetsityksen alkuvaiheessa pintakasvillisuudesta aiheutuvat tuhot ovat yleisiä (Hytönen & Polet 1995, 7-8. Ferm, A ym.1993). Rikkakasvien siemenet suojautuvat epäedullisia olosuhteita vastaan dormanssin eli lepotilan avulla (Lötjönen ym. 1999, 12.). Dormanssin takia rikkakasvien siemenet voivat olla hyvin eri ikäisiä ja säilyttää itämiskykynsä jopa 50 vuotta. Suomalaisen pellon muokkauskerroksessa voi olla 50 000 rikkakasvin siementä neliömetrillä (Kiirikki 1993, 139-152). Kun siemenet saavat ulkoisen tekijän vaikutuksesta suotuisat olosuhteet dormanssi purkautuu. Pellonmetsitysaluilla yleensä tarvittava maanmuokkaus tuo osan siemenpankista lähelle maanpintaa. Kosteus, valo, lämpö ja kilpailutekijät maanmuokkauksen jälkeen antavat rikkakasvien itämiselle suotuisat olosuhteet. Suurin osa itämiskykyisistä siemenistä sijaitsee viiden cm:n pintakerroksessa ja muokkauksen jälkeen loppu osa siemenpankista jää lepotilaan syvemmälle maahan. Vain hyvin harvojen kasvien sieme-

net voivat itää viittä senttiä syvemmillä (Lötjönen ym. 1999, 13.). Kertarikkakasvit lisääntyvät pääasiassa siemenistä. Kestorikkakasvit talvehtivat ja lisääntyvät suvuttomasti maavarren ja juuriensa avulla. Hyvin muokkausta sietävät lajit kuten juolavehnä, pelto-ohdake ja peltovalvatti ovat kertarikkakasvien lisäksi metsitetyn pellon ensimmäisiä valtalajeja. Sukkession edetessä yksivuotiset kertarikkakasvit korvautuvat parissa vuodessa kestorikkakasveilla (Hytönen & Lilja 1995, 63). Myöhemmin heikosti muokkausta sietävät lajit kuten nurmilauha valtaavat alaa. Rikkakasvit kilpailevat istutustaimien kanssa valosta, lämmöstä, ravinteista ja vedestä. Kilpailun lisäksi rikkakasvit aiheuttavat sekundaarisia tuhoja. Lakoontuvat kasvit taivuttavat taimia syksyisin ja talvisin lumikuorman alla. Hynösen (1992) mukaan Pohjois-Savon metsitetyillä pelloilla rikkakasvien keskipituus oli 57 cm. Myyrät aiheuttavat tuhoja nuorissa taimikoissa. Peltomyyrän pääravintona ovat heinät ja ruohot, mutta ne täydentävät ravintoaan jyrsimällä taimien kuorta. Pellonmetsitysalueilla runsas pintakasvillisuus antaa suojaa ja ravintoa peltomyyrille (Henttonen, Niemimaa, Kaikusalo 1995, 97–117). Runas kasvipeite alentaa pintamaan lämpötilaa paljaaseen muokattuun maahan verrattuna (Kolström & Nuutinen 1995, 74-89). Samassa tutkimuksessa todettiin maan kuivumisen ja pintakasvillisuuden lisääntymisen pienentävän fotosynteesinopeutta. Tämä näkyi selvänä taimien pituuskasvueroina.

#### **1.4 Turvemaiden tuhkalannoitus**

Suomessa syntyi vuonna 2009 puu- ja turpeentuhkaa noin 500 000 tonnia (Moilanen & Tillman-Sutela. 2009, 2). Kansallisen metsäohjelman (KMO) 2015 metsähakkeen tavoitetasoksi on asetettu 8-12 miljoonaa m<sup>3</sup>/v. Suomen kansallisen uusiutuvan energian toimintasuunnitelmaa on täsmennetty yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa sekä erillisessä lämmöntuotannossa 13,5 milj. m<sup>3</sup> vuoteen 2020 mennessä (Laitila, J. 2010). Vuonna 2010 metsähakkeen vuotuinen käyttö

Suomessa oli 6,9 miljoonaa m<sup>3</sup> (Metsäntutkimuslaitos. Metsätilastollinen vuosikirja 2011).

Tuhkalannoitukseen on 2000-luvulla käytetty noin 10 % syntyvän tuhkan määrästä. Turvemaiden metsissä käytetään fosforia ja kaliumia sisältäviä lannoitteita ja kivennäismaiden metsissä typpeä. Vuonna 2010 fosforia levitettiin Suomen metsiin noin 500 tonnia. Tästä fosforimäärästä 58 % oli peräisin tuhkista. Epäorgaanista typpeä levitettiin samana vuonna noin 4000 tonnia (Työryhmämuistio. MMM. 2011, 30). Kansallisen metsöohjelman 2015 tavoitteena on kaksinkertaistaa metsien lannoituspinta-alat 46 000 hehtaarista 80 000 hehtaariin vuodessa. Tämä mahdollistaa myös tuhkan käyttömäärän lisäämisen.

Puuntuhka sisältää kalsiumia 10-30 %, fosforia 1-3 % ja kaliumia 2-6 %. Lisäksi tuhkassa on puiden kasvulle välttämättömiä hivenravinteita, mutta ei lainkaan typpeä. Puun tuhka sisältää aina myös rautaa, joka sitoo fosforia ja luovuttaa sitä kasveille hitaasti. Tuhka hillitsee fosforin ravinnehuuhtoumia. Tämän vuoksi tuhka on ihanteellinen lannoite runsastyyppisille turvemaille. Tuhkalannoitus nostaa pintaturpeen pH-tasoa keskimäärin 1-3 yksikköä ja vähentää maaperän happamuutta. Tämä tuhkan ominaisuus on tärkeää ennen kaikkea turvemaille, joiden pH on yleensä kivennäismaita pienempi. Happamuuden vähetessä maaperän mikrobi-toiminta vilkastuu edistään orgaanisesti sitoutuneiden ravinteiden vapautumista kasvien käyttöön. Tuhkalannoitus lisää myös ruohovartisten kasvien lajimäärää ja runsautta (Silfverberg, Huotari, Kokkonen. 2010, 346). Muuttuvassa kenttäkerroksessa karikkeen ja kasvien hajotustoiminta vilkastuu. Edellä mainitun vuoksi myös niukkatyyppisillä rämeillä ja kangasmailla pelkällä tuhkalannoituksella voidaan saada puuston kasvureaktio.

Pohjoismaiden varhaisimmat tuhkalannoituskokeet on perustettu Pohjois-Ruotsiin 1900-luvun alussa (Malmstöm 1952, 1-26). Suomessa ensimmäiset tuhkalannoituskoealat perustettiin Vilppulan Jaakkoinsuolle vuonna 1937 (Silfverberg & Huikari 1985, 3). Tuhkalannoitustutkimuksia on tämän jälkeen tehty Suomessa paljon. Silfverbergin (1991, 34) mukaan 1970-80 lukujen taitteessa Metsäntutkimuslaitos perusti 160 ojitusalueen tuhkalannoituskoetta kymmenessä vuodessa. Ennen vuotta 1960 Suomessa perustetuista tuhkalannoituskokeista ovat Silfverberg ja

Huikari (1985) tehneet tutkimuskatsauksen puuston tilavuuskasvuun ja ravinnetilaan. Tutkimuksessa kerättiin aineistoa kahdeksaltatoista vuosina 1937-59 tuhkalannoitetusta metsiköstä. Tulosten mukaan puun tuhka on lisännyt puuston kasvua lähes kaikilla kokeilla. Tuhkalla on yleensä saatu myös keinolannoitteita suurempi ja pitkäkestoisempi kasvunlisäys (Silfverberg, Huikari 1985). Silfverberg, Huotari ja Kokkonen (2010) ovat tutkineet Pohjois-Pohjanmaalla päätehakatulla turvekankaalla puu- ja turvetuhkan vaikutuksia kasvillisuuteen ja männyn taimettumiseen. Tutkimuksen tulokset eivät puolla tuhkan käyttöä turvekankailla taimettumisen edistäjänä (Silfverberg ym. 2010, 352). Tuhkalannoitus ei myöskään ole lisännyt taimien pituuskasvua tilastollisesti merkitsevästi viiden vuoden tutkimusjakson aikana. Tuhkalannoituksen erilliskannattavuutta on myös tutkittu (Lauhanen, Moilanen, Silfverberg, Takamaa, Issakainen 1997, 51-58). Tuhkalannoituksen kannattavuus pelkkään ojitusvaihtoehtoon verrattuna oli 3 prosentin korolla noin 400-3000 €/ha (Lauhanen ym. 1997, 56). Tutkimus oli toteutettu kolmella Metsäntutkimuslaitoksen kenttäkokeella, jossa lannoitushetken puuston ikä vaihteli 10-59 vuoteen.

### **1.5 Työn lähtökohdat ja tavoitteet**

Taimikoiden lannoitus ei yleensä ole taloudellisesti kannattavaa pitkien tuotto-odotusten ja sisäisten korkojen vuoksi. Uudistamisvaiheen tuhkalannoituksen vaikutuksia taimien kasvuun turvemailla ei tunneta hyvin. Turvemaiden uudistaminen on vasta viime vuosina noussut kiinnostavaksi tutkimusaiheeksi. Aikaisemmin tehdyt tuhkalannoituksen kannattavuuslaskelmat turvemailla ovat perustuneet vakiintuneisiin taimikoihin tai nuoriin kasvatusmetsiin. Rikkakasvien torjunnan ja tuhkalannoituksen yhdysvaikutuksia taimikon kehitykseen ja kasvatuksen taloudelliseen kannattavuuteen turvepeltojen metsityksessä ei juuri ole tehty.

Tämän työn tarkoituksena on selvittää rikkakasvien torjunnan ja tuhkalannoituksen vaikutusta männyn ja hieskoivun alkuvaiheen kehitykseen maataloustuotannosta poistuneella turvemaan pellolla. Tarkastelun kohteena ovat neulasravinnepitoi-

suuksien muutokset ja mahdollinen kasvuvaste. Lisäksi tarkastellaan Motti -simulointiohjelmistolla tuhkalannoituksen taloudellista kannattavuutta. Tutkimusaihe on ajankohtainen kahdesta eri syystä. Maatalouden hiilidioksidipäästöjen alentamistavoitteet saavutetaan helpoimmin metsittämällä heikkotuottoisimpia turvepeltoja sekä vähentämällä turvemaan pellonraivauksia. Metsähakkeen tuotantotavoitteiden toteutuessa syntyville tuhkamäärille taataan ilmastoystävällinen loppusijoitus. Lisäksi tuhkan levitys puuttomalle suopellolle on kustannustehokasta. Jos tuhkalannoituksella saadaan merkittävä kasvunlisäys turvepeltojen metsityskohteilla, voisi metsitys olla varteenotettava vaihtoehto sekä maatalouden hiilidioksidipäästöjen alentamiseksi että aines- ja energiapuun tuotannon ja kannattavuuden lisäämiseksi.



## 2 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 2.1 Tutkimuskohde

Tutkimuskohde sijaitsee Kajaanin kaupungissa Vuolijoen Saaresmäen kylässä (64°06`N, 26°58`E, 154 m mpy). Koe on yksi Metsäntutkimuslaitoksen ja Metsäkeskus Tapion yhteistutkimushankkeena vuosina 1990 ja 1991 perustetuista peltonmetsityskokeista (Ferm ym. 1993). Koe on perustettu entiselle turvepellolle, jossa on viljelty kauraa ja heinää viimeksi 1971 (kuva 1). Viljelyvuosina peltoa on lannoitettu ja kalkittu normaalisti. Turvesyvyys on keskimäärin 70 cm. Silmävaraisen arvioinnin ja maanäyteanalyysien perusteella voidaan olettaa että pellolle on lisätty jossain vaiheessa painomaata (turpeen tiheys 292 kg/m<sup>3</sup>). Ympäröivän kasvupaikan perusteella alkuperäinen suotyyppi on muistuttanut rahkaista rämelettoa (RaRL).



Kuvio 2. Muokkausjälki näkyvissä kuusen istutusruudulla. Kuva (Metla) vuodelta 1991.

## 2.2 Koejärjestelyt

Ennen viljelyä alue muokattiin ojitusmätästyksenä keväällä 1991. Mättäitä tiivistettiin kauhalla. Toiselle puolelle kokeesta lohkoille 2, 3 ( liite 1; kartta kokeesta) tehtiin rikkakasvien kemiallinen ennakkotorjunta Terbuthylazinilla (Roundup/ pitoisuus 360 g/l, annostus oli 6 l/ha). Levitys tehtiin traktoriruiskutuksena. Kokeen toista puolta ei ennakkotorjuttu (lohkot 1, 4). Metsäntutkimuslaitoksen työryhmä rajasi alkukevästä 1991 alueelle yhteensä 60 koealaa a`0.03-0.066 ha. Kokeessa käytettiin faktoriaalista koejärjestelyä ja satunnaisten lohkojen menetelmää. Kokeen yhteispinta-ala on yhteensä 2,8 hehtaaria.

Ennen varsinaista istutusta keväällä 1991 taimet valeistutettiin ojiin. Maanomistaja istutti taimet 27.5 - 28.6.1991. Istutustiheys havupuilla oli 3000 tainta/ha ja hieskoivulla istutustiheys oli 2500 kpl/ha. Männyn taimet olivat avo-juurisia 2A+1A Puolanka B4 alkuperää. Hieskoivun taimet olivat 1Mk A2 pottitaimia(A= avomaan kasvatus, M= muovihuonekasvatus, k (tai+)= koulinta). Lohkoittain arvottu faktoriaalinen koejärjestely ilmenee liitteestä 1. Istutuksen jälkeinen rikkakasvien kemiallinen jatkotorjunta tehtiin havupuille 3 – 7.7.1991. Hieskoivulle ei tehty rikkakasvien jatkotorjuntaa istutusvuonna. Rikkakasvien torjuntakäsittelyt toistettiin seuraavana vuonna heinäkuussa. Jatkotorjunnassa käytettiin havupuille Roudup- ja Gardoprim tankkiseosta 7+3 l/ha noin 300 l:n vettä ja se levitettiin reppuruiskulla. Hieskoivuille käytettiin Prefix- sirotetta 80 kg/ha. Tuhkalannoitus toteutettiin kesällä 1992. Lannoitteena käytettiin Wisaforest Oy:n kuorituhkaa (taulukko 2). Tuhka säkitettiin ja levitettiin käsin koeruuduille. Tuhkan levitysmäärä oli 5000 kg/ha kuivana. Ruutu-kohtaiset levitysmäärät olivat 150-330 kg riippuen koeruudun pinta-alasta.

P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	B
48	124	1010	75	0	88	1,2	1,5

Taulukko 2. Vuolijoen kokeelle levitetyt ravinnemäärät kg/ha 5000 kg:n tuhkamäärällä.

### 2.3 Aineiston keruu

Kokeen mäntyruidut inventoitiin vuosittain 1992-2000. Hieskoivut inventointiin vain kahtena ensimmäisenä kasvukautena. Jokaiselle mitattavalle koeruudulle perustettiin kaksi pysyvää 50 m<sup>2</sup>:n ympyränäytealaa joista taimet kartoitettiin. Keskipisteet merkittiin pysyvästi muoviputkilla myöhempiä mittauksia varten. Taimista mitattiin pituus ja määritettiin puulaji, syntytyyppi, vakavimmat viat- ja tuhonaiheet, elinvoimaisuus, viljelytyön laatu, rikkakasvien varjostus, taimen alustan laatu ja kasvukohdan mikrotopografia. Lisäksi osakoealoittain arvioitiin ojamaan osuus, muokatun maan osuus, rikkakasvien peittävyys- ja valtapituus, rikkakasvien valtalajit, luontaisten taimien lukumäärä ja valtapituus puulajeittain. Taimikon alkuvuosien kehitystä ja ravinnetaloutta on esitelty aikaisemmissa tutkimusjulkaisuissa (Hytönen ja Pietiläinen 1995, 149-164, Hytönen 2003, 219-234). Kun istutuksesta oli kulunut 16 vuotta kokeen mäntypuusto mitattiin uudelleen. Puusto oli tuolloin jo niin kookasta, että tilavuuden laskeminen olisi mielekäästä. Mittaus tapahtui samoista mittauspisteistä kuin aiemmin vuosina 1991-2000. Mitattaviin muuttuihin lisättiin rinnankorkeusläpimitta D1.3 (mm). Tässä työssä on huomioitu vielä 21 vuotta istutuksen jälkeen syksyllä 2011 mitattu mäntyaineisto ja vuotta myöhemmin mitattu hieskoivuaineisto. Viimeisimmät mittaukset tapahtuivat samoilla menetelmillä kuin vuonna 2006.

Männyn neulasnäytteitä on kokeelta kerätty vuosina 1995, 1999 ja 2011. Koostenäytteet on otettu terveiden valtapuiden ylimmistä oksankiehkuroista etelän puolelta. Maanäytteet koostettiin kolmesta erillisnäytteestä kontrolliruuduilta 0 -10 cm ja 30 – 40 cm syvyyksiltä. Maa- ja neulasnäytteiden ravinnepitoisuudet on analysoitu metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen yksikön laboratoriossa. Neulasnäytteet kuivattiin 70 °C:n lämpötilassa ja jauhettiin jonka jälkeen poltto 550°C:n lämpötilassa. Kokonaisravinteista analysoitiin N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B ja pH (happamuus kuvaa positiivisten vetyionien (H<sup>+</sup>) aktiivisuutta liuoksessa. Wikipedia <http://fi.wikipedia.org/wiki/Happamuus> [viitattu 4.2.2013]). Analyysissä käytettiin vakiomenetelmiä, jotka on kuvattu mm. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121 (Halonen ym 1983).

Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu männyn tuotosta 16 ja 21 vuotta ja hieskoivun tuotosta 21 vuotta istutuksen jälkeen. Simuloinnin avulla eri käsittelyiden kannattavuutta ja tuotosta tarkasteltiin männyn osalta päätehakkuuseen asti. Taimikon varhaiskehityksen aikaisempaan julkaisutietoon tukeudutaan tulosten tulkinnessa (Hytönen, J. 2003).

## 2.4 Aineiston laskenta ja jatkokäsittely

Mittausaineisto tallennettiin Metsäntutkimuslaitoksen standardilomakkeistolle 20 ja 71. Lomakkeen muuttujat on formatoitu koealojen peruslaskentaohjelmille sopiviksi (J. Heinonen 1994). Koepuiden laskentaohjelma on KP7. Ohjelmalla lasketaan puujoukkoja kuvaavia tunnuksia: esimerkiksi keskiläpimitta, keskipituus, pohjapinta-ala, runkotilavuus, kuitupuumäärä. Ohjelmalle annettavilla ohjaustiedoilla määritetään laskettavat tunnuksat. Kaikista ympyräkoealan puista mitattiin rinnankorkeusläpimitta ( $D_{1,3}$ ). Osalta lukupuista mitattiin myös pituus, latvusraja,  $D_{6,0}$  ja muita koepuutunnuksia. Koepuutiedot yhdistettiin tasoitusfunktioiden avulla kuvaamaan koko runkolukusarjaa. Tämän aineiston laskennassa on käytetty Näslundin pituuskäyrää  $h = 1,3 + (d/a_0 + a_1 \cdot d)^{**2}$ , missä  $h$  on puun pituus,  $d$  on läpimitta perusmittauskorkeudella,  $a_0$  ja  $a_1$  ovat koepuumittausten perusteella laskettavia kertoimia. Runkotilavuuden laskennassa käytetty tasoitusfunktio oli muotoa  $v/(d \cdot d) = a_0 + a_1 \cdot d + a_2 \cdot d \cdot d$ , missä  $a_0$ ,  $a_1$  ja  $a_2$  ovat kertoimia. Mittausaineiston ja laskennassa käytettyjen menetelmien yhteensopivuus testattiin PIC7P- ohjelmalla, joka lukee puukohtaista työtiedostoa ja piirtää kuvaajat esimerkiksi pituuden ja läpimitan suhteen.

## 2.5 Aineiston tilastollinen jatkokäsittely

Kun aineiston peruslaskenta oli tehty ja sen oikeellisuus ja luotettavuus testattu siirrettiin aineisto SPSS (version 20) tilasto-ohjelmistoon, jolla jatkokäsittely tehtiin. Tuhkan, rikkakasvien torjunnan sekä tuhkan ja rikkakasvien torjunnan yhdysvaikutusta mitattuihin ja laskettuihin (kp7 laskenta) muuttujiin testattiin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä. Kovariaattina käytettiin turvekerroksen paksuutta. Tutkielman kuvioissa on käytetty tilastollisena merkitsevyyserona p- arvoa (sig.). Jos p- arvo on  $< 0,001$  on tilastollinen riippuvuus erittäin merkitsevä ja merkintänä \*\*\*. P- arvon ollessa  $0,001 - 0,01$  on riippuvuus tilastollisesti merkitsevä ja merkintänä on käytetty \*\*. Jos p- arvo on  $0,01 - 0,05$  on riippuvuus tilastollisesti melkein merkitsevä ja merkintänä \*. Varianssianalyysin tulokset on esitetty liitteessä 2.

## 2.6 Puuston kehityssennusteita MOTTI-ohjelmistolla

Eri käsittelyiden vaikutuksista Vuolijoen koemetsikön tuotokseen ja kasvatuksen kannattavuuteen on hyödynnetty Metsäntutkimuslaitoksen kehittämää MOTTI-laskentaohjelmistoa. Laskelmat perustuvat Metlan laajoihin kenttäkokeista ja inventoinneista saatuihin tuloksiin (Motti-ohjelmiston käyttöohje Ver. 3.0. Metla 2005). Ohjelmistoa käytettiin vaihteittain.

- 1) Alkuasetuksissa metsikölle syötettiin puusto- ja kasvupaikkatiedot sekä puutavaralaskennassa käytettävät tiedot.
- 2) Kasvatettiin metsikköä joko automaattisesti suositusten mukaan tai aika-askelkerrallaan annettujen ohjeiden mukaan.

3) Seuraavassa vaiheessa tarkasteltiin ohjelmiston tuottamia tuloksia. Tietoja saadaan metsikön tuotoksesta ja kasvatuksen taloudellisuudesta ja niitä voidaan havainnollistaa erilaisilla kuvaajilla.

4) Ohjelmiston hallinta-ikkunassa voidaan vaihtaa kasvatus uuteen metsikköön tai suorittaa samalle metsikkökuviolle uusi kasvatus muutetuilla asetuksilla.

Perusohjelmaversion käyttö turvemailla on rajoittunutta. Turvemailla MOTTI-ohjelmistolla voi toistaiseksi tuottaa kehitysennusteita vain vakiintuneille taimikoille. Taimikoiden lannoituksen vaikutuksia kuvaavat mallit puuttuvat versiosta kokonaan. Tässä tutkimuksessa on verrattu kontrollin ja tuhkalannoituksen eroja nettotulojen nykyarvoon. Käytettävä kasvumalli huomio puuston paremman kasvun kasvupaikkatyyppin paranemisen ja paremman puuston lähtötilanteen kautta (taulukko 3). Tuhkalannoitetuissa metsiköissä kasvillisuus rehevöityy. Rahkasammalet ja varpukasvillisuus häviävät ja tilalle syntyy ruoho- ja heinäkavillisuutta. Tätä kautta kasvupaikan olot muuttuvat puuntuotannon kannalta suotuisimmaksi (Mikko Moilanen, Puuntuhkakoe vuodelta 1947, Metsäntutkimuslehti 4/2009).

Martti Varmola (1993) on julkaissut viljelymänniköiden alkukehitystä kuvaavan metsikkömallin. Esitetyistä malleista voidaan viljelytaimikoiden pohjapinta-alan, pituuden, läpimitan tai tilavuuden avulla etsiä vastaavuuksia metsikön pituusboniteettiin  $H_{100}$ . Varmolan mukaan Hägglundin (1976) välipituusmenetelmään perustuvat mallit vastaavat melko hyvin metsätyyppien vastinpituusboniteetteja Suomen oloissa. Runkotilavuusmallit sopivat parhaiten aineistosta laskettuihin puustotunnuksiin. Lyhyen aikavälin pituus- ja läpimitan kasvuerot eri käsittelyillä eivät poikenneet merkittävästi toisistaan. Kontrolliruutujen runkotilavuus oli 21-vuotiaana  $9,1 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Tilavuusmallilla  $H_{100}$  samanikäisen taimikon runkotilavuus oli  $10,5 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Tuhkalannoitetuilla ruuduilla runkotilavuus oli  $32 \text{ m}^3/\text{ha}$ , tilavuusmallilla  $H_{100}$  saatu runkotilavuus oli  $25,5$ . MOTTI-simuloinnissa käytetyt pituusboniteettia vastaavat kasvupaikat olivat kontrollikäsittelyllä isovarpuinen/tupasvillainen ja tuhkalannoituskäsittelyllä puolukainen/lyhytkortinen. Aineistosta lasketut viimeisen viiden vuoden tilavuuskasvut olisivat antaneet malleilla suuremmat kasvupaikkaerot.

	käsittelimätön	heinäntorjunta	tuhkalannoitus	heinäntorjunta+tuhkalannoitus
runkoluku ist.mänty	725	1375	1250	2375
PPA m <sup>2</sup> /ha mänty	2	4	8	15
keskipituus mänty	4,9	5,4	7,3	7,5
valtapituus mänty	5,6	6,4	9,9	9,9
runkoluku luont.ko.	6400	9900	5700	5600
keskipituus luont.ko.	4,5	4	4,5	5

Taulukko 3. 21 vuotta metsityksen jälkeen laskettuja puustotunnuksia Vuolijoen kokeelta.

Mäntyjen kuolleisuus on ollut vaihtelevaa eri käsittelyillä. Paikoin istutetusta puustosta on kuollut 80 %. Hieskoivua on kuitenkin tullut luontaisesti niin runsaasti, että kokonaisrunkoluku v. 2011 oli keskimäärin 9000 kpl/ha. Kasvatuksen lähtökohtana oli 21- vuotias vakiintunut taimikko. Puusto-ositteet muodostettiin taulukon 3 mukaisesti mäntyä suosien. Kasvatus tehtiin metsänhoitosuosituksen mukaisesti päätehakkuuseen asti. Nettotulojen nykyarvoa, kustannuksia ja tuloja vertailtiin kolmella vaihtoehdolla: 1) kontrolli, 2) tuhkalanhoitus perustamisvaiheessa, 3) tuhkalanhoitus perustamisvaiheessa ja jatkolannoitus 26 vuotta istutuksesta. Kontrolli- ja perustamisvaiheen tuhkalanhoituskäsittelyn kasvatusvaihtoehdoissa on mukana taimikonhoito, ensiharvennus, 2. harvennus ja kaksi kunnostusojitusta. Jatkolannoitus tehtiin tuhalla suositusten mukaisina ravinnemäärinä 26 vuotta istutuksesta. Yksikkökustannuksina on käytetty MOTTI- ohjelman yksikkökustannushintoja.

Hakkuista ei laskelmassa katsota koituvan kustannuksia, koska tulot ovat kantorahatuloja (taulukko 2). Päätehakkuissa ja harvennushakkuissa käytettiin samoja puutavaran hintoja eikä tukkivähennyksiä tehty. Kasvatusohjelma ei ole huomionnut ensimmäisen tuhkalannoituksen kustannuksia, koska lähtökohtana oli vakiintunut taimikko. Tuhkalannoituskulut (300 €/ha) ja uudistamiskulut (1796 €/ha) on laskettu nettotulojen nykyarvoon diskonttauskertoimen yleisellä kaavalla:

$$P(T) = \frac{1}{(1+r)^T}$$
, missä T = periodi, r = korko (Robinson, 1987). Uudistamiskuluina on käytetty MOTTI- ohjelmiston yksikköhintoja sisältäen ojitusmätästysten, taimet sekä istutustyön.

---

	Mänty	Hieskoivu
Sahatukki	45,5	45,9
Pikkutukki	35,0	30,0
Kuitupuu	14,05	13,9

---

Taulukko 4. Simuloinnissa käytetyt puutavaran kantohinnat €/m<sup>3</sup>.



### 3 TULOKSET

#### 3.1 Neulasten ravinnepitoisuudet ja maan ravinnemäärät

Tilavuustarkat maanäytteet kerättiin kontrolliruuduilta kokeen perustamisvaiheessa. Maanäytteistä analysoitiin kokonaisravinteet ja uuttuvat ravinteet (taulukko 5).

Näyte taso, cm	pH vesi	tuhka %	Tiheys g/dm <sup>3</sup>	N tot.	P Aas	P tot.	K Aas	K tot.	Ca Aas	Ca tot.	Mg Aas	Mg tot.	B
0-10	4,5	46,5	292	5129	983	5,0	136	35	1032	582	181	113	1,0
30-40	4,5	46,3	268	3740	241	1,5	185	9	655	345	481	73	0,9

Taulukko 5. Turpeen pH, tuhkapitoisuus, tiheys ja helppoliukoiset (Aas) sekä kokonaisravinnemäärät kontrolliruuduilla 0-10 ja 30-40 cm:n syvyydellä.

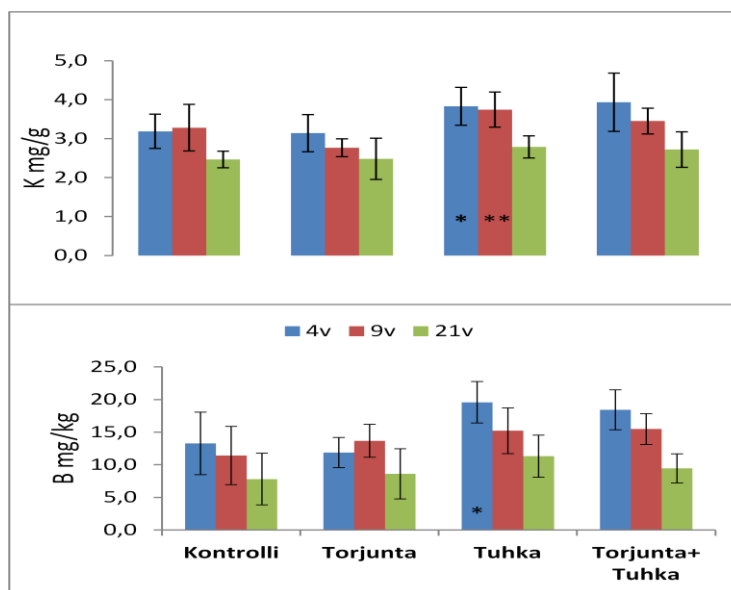
Aas-määrittämisessä näyte hajoitetaan kuumentamalla atomeiksi. Mitä enemmän näytteessä on atomeja, sitä enemmän näkyvää valoa sitoutuu. Vertaamalla näytteen kohdistettua ja näytteen läpäissyttä säteilyä saadaan mittaus suoritettua (<http://fi.wikipedia.org/wiki/AAS>).

Maanäytteiden mineraalimaan koostumuksen perusteella painomaata on lisätty viljelyvaiheessa (Hytönen, J. 2003). Pintaturpeen tiheys oli 292 kg/m<sup>3</sup>.

Tuhkalannoituksen ja rikkakasvien torjunnan sekä näiden yhdysvaikutuksia neulasravinteiden määrään 4, 9 ja 21 vuotta kokeen perustamisesta testattiin varianssianalyysillä. Liitteessä 2 on esitetty varianssianalyysien päätulokset. Typpi- ja fosforipitoisuudet eivät kohonneet millään ajanjaksolla tilastollisesti merkitsevästi. 21 vuotta kokeen perustamisesta neulasten keskimääräinen typpipitoisuus oli 16,4 mg/g ja fosforipitoisuus oli 1,57 mg/g. Kontrolliruuduilta mitattu neulasten typpipitoisuus oli 15,5 mg/g ja fosforipitoisuus 1,43 mg/g. Neulasanalyysitulokset osoittavat että typen osalta ei ole niukkuutta, mutta fosforin määrä saattaa rajoittaa kasvua joinakin vuosina.

Männyn neulasten kalium- puutosrajana soilla pidetään 3,5 mg/g (Reinikainen ym. 1998). Neljä vuotta kokeen perustamisesta otetuissa neulasnäytteissä kontrolli- ja torjuntakäsittelyillä neulasten kaliumpitoisuus oli 3,2 mg/g. Neulasten kaliumpitoisuudet lisääntyivät tuhkalannoituksella 10-15 % 4 vuotta ( $p=0,028$ ) ja 9 vuotta ( $p=0,019$ ) lannoituksesta. Neulasten kaliumpitoisuudet nousivat tuhkalannoitetuilla aloilla tasolle 3,9 mg/g. Tuhkan vaikutus on kuitenkin pienentynyt kun lannoituksesta oli kulunut 21 vuotta (kuvio 3). Kaliumpitoisuus oli tuhkakäsittelyllä tuolloin 2,8 mg/g ja kontrolli käsittelyllä 2,5 mg/g.

Neljä vuotta lannoituksesta tuhka on lisännyt neulasten booripitoisuuksia merkitsevästi kolmanneksen ( $p=0,003$ ). Booripitoisuus oli tuolloin 19,6 mg/kg. Alhaimmat booripitoisuudet 7,8 mg/kg mitattiin kontrolliruuduilta 2011. Samana ajankohtana tuhkalannoitus käsittelyn neulasten booripitoisuus oli 11,3 mg/kg. Tuhkalannoituksen vaikutus vähenee myös boorin osalta mitä kauemmin lannoituksesta on kulunut (kuvio 3). Neulasten magnesium- ja mangaanipitoisuudet eivät lisääntyneet 9 ensimmäisen vuoden aikana lannoituksesta, mutta ovat lisääntyneet kontrolliin verrattuna 21 vuotta lannoituksesta. Tuhkalannoitus ei ole lisännyt neulasten kadmium pitoisuuksia. Kontrolliruutujen neulasista analysoitu kadmiumpitoisuus oli 0,06 mg/kg.

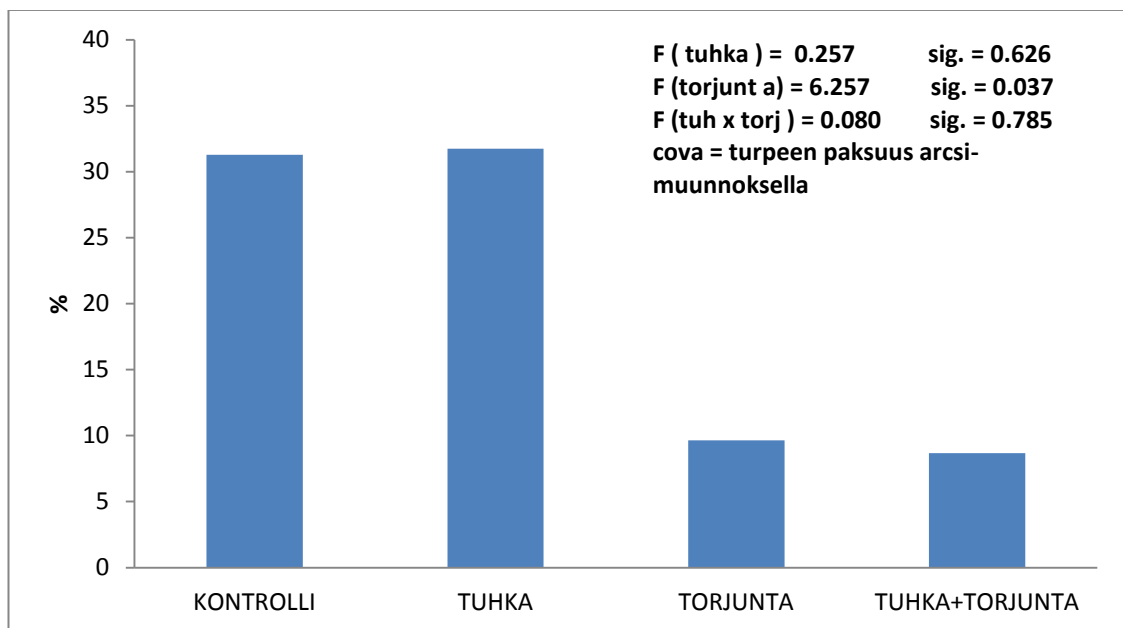


Kuvio 3. Eri käsittelyiden vaikutus ja tilastolliset merkitsevyydet neulasten kalium- ja booripitoisuuksiin. Keskihajonta merkitty virhepalkilla.

## 3.2 Käsittelyiden vaikutus puustotunnuksiin

### 3.2.1 Männyn kasvu

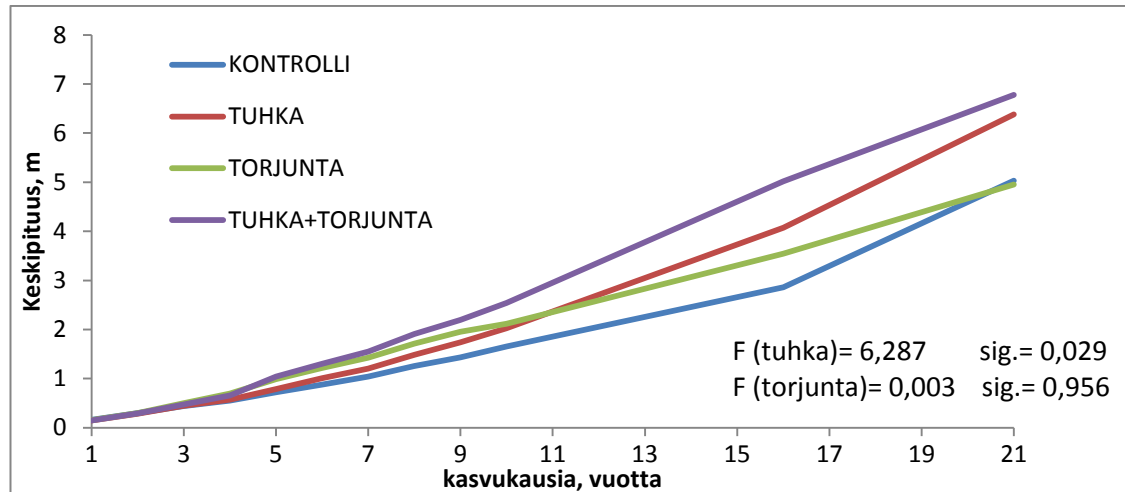
Männyn istutustiheys oli 3000 kpl/ha. Kaksikymmentäyksi vuotta istutuksesta kontrolliruuduilla oli eläviä istutusmäntyjä 950 kpl/ha. Rikkakasvien jatkotorjuntakäsittelyillä runkoluku oli 1775 kpl/ha. Tulos poikkeaa tilastollisesti melkein merkitsevästi ( $p = 0,023$ ) kontrollista. Ainoastaan tuhkaa saaneilla käsittelyllä runkoluku oli keskimäärin 1300 kpl/ha. Käsittelyiden välillä ei ole yhdysvaikutusta. Kuusitoista vuotta istutuksesta kolmannes tuhkalannoitetuista ja vertailukoealojen männyistä kärsi vesakkotuhoista. Taimien kunto luokiteltiin silmävaraisesti viisiasteisella luokituksella: terve, lievä tuho, heikentynyt, kituva, kuollut. Tuhojen luokittelussa huomioitiin mittauskerran elävät taimet. Rikkakasvien torjuntakäsittelyn saaneilla männyillä vain kymmenesosalla oli vesakkotuhoja (kuvio 4).



Kuvio 4. Vesakkotuhoille altistuneiden männyn taimien osuus ja tilastolliset merkitsevyydet eri käsittelyillä 16 vuotta istutuksesta.

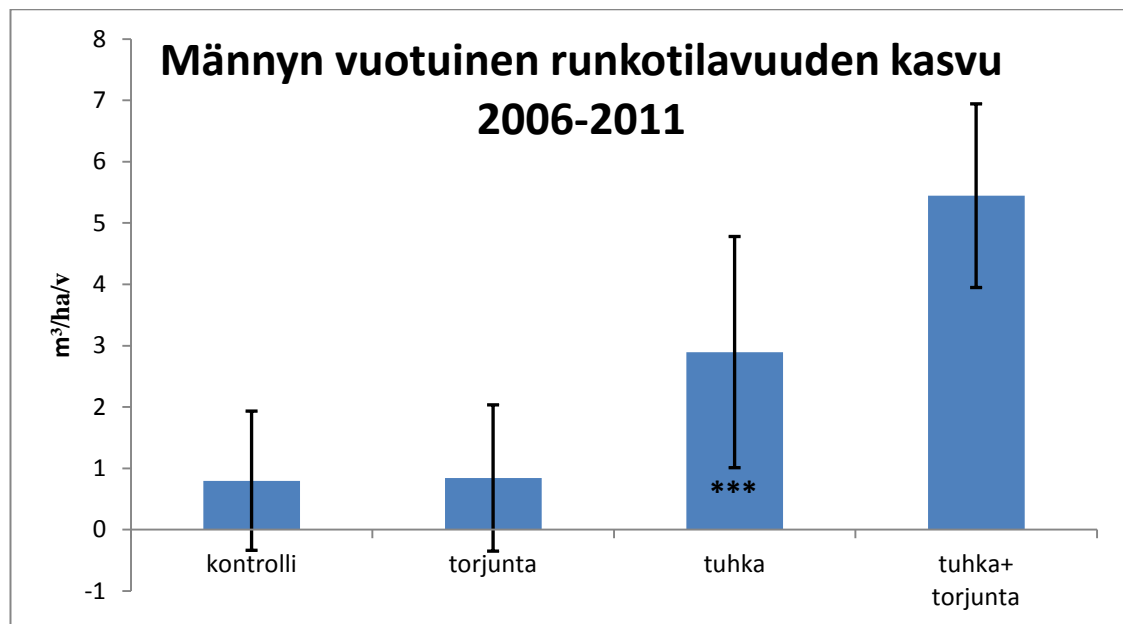
Vaikka rikkakasvien kemiallinen torjunta vähensi taimien kuolleisuutta, se ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi puiden pituuteen ja läpimittaan (kuvio 5). Tämä saattaa johtua siitä, että torjuntakäsittelyllä ilman tuhkalannoitusta ravinnepuutok-

sesta aiheutuneita tuhoja oli jopa 80 % taimista. Tuhkaa saaneilla ruuduilla 10-15 % taimista ja kontrolliruuduillakin ainoastaan kolmannes taimista kärsi ravinnepuutosoireista. Lohkojen väliset erot ovat suuria.



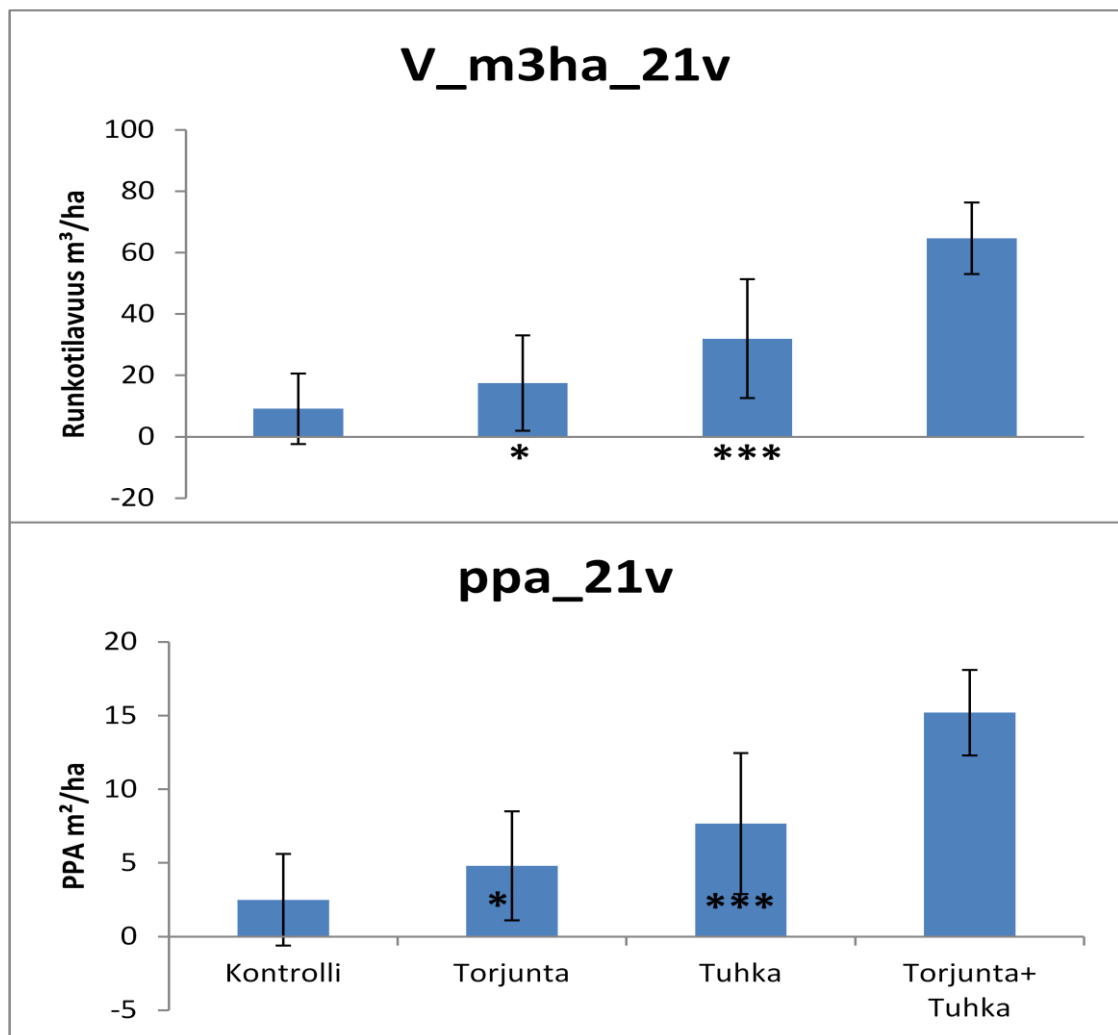
Kuvio 5. Männyn keskipituuden kehitys ja tilastolliset merkitsevyydet 21 vuotta isotutuksesta.

Tuhkalannoitus lisäsi männyn runkotilavuutta tilastollisesti merkitsevästi viiden viimeisen vuoden kasvujakson aikana  $2,1 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$  ( $p= 0,001$ ) (kuvio 6) ja 21- vuodessa  $1,1 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$  ( $p= 0,000$ ) (kuvio 7). Rikkakasvien torjunta ja tuhkalannoitus yhdessä lisäsivät männyn tilavuuskasvuja viiden vuoden kasvujaksolla  $4,6 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$  ( $p= 0,139$ ) ja 21- vuodessa  $2,7 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$  ( $p= 0,157$ ). Rikkakasvien torjuntakäsittely lisäsi juoksevaa vuotuista runkotilavuuden kasvua  $0,4 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$  ( $p= 0,026$ ). Rikkakasvientorjuntakäsittely ei lisännyt runkotilavuutta enää viimeisenä viitenä vuotena ( $p= 0,135$ ). Yhdysvaikutus ei poikkea kontrolli käsittelystä tilastollisesti merkitsevästi ( $p= 0,157$ ). Tuhkalannoitus on lisännyt keskiläpimittoja 2 cm ja keskipituutta 1,4 metriä 21 vuoden aikana. Torjunta ja tuhkalannoitus yhdessä ovat lisänneet keskipituutta noin kaksi metriä.



Kuvio 6. Männyn runkotilavuuden keskimääräinen vuotuinen kasvu 2006-2011 ja tilastolliset merkitsevyydet eri käsittelyillä. Keskihajonta on merkitty virhepalkilla.

Nuoren metsikön juokseva vuotuinen kasvu on määrällisesti pieni. Tutkitun metsikön viimeisen viiden vuoden kasvu antaa kuvan siitä, kuinka eri käsittelyt vaikuttavat. Vuodesta 2006 vuoteen 2011 on tuhkalannoituksella saatu 3,5- kertainen tilavuuskasvun lisäys vuodessa. Tuhkalla ja torjunnalla kasvunlisäys on ollut 7 kertaa suurempi kuin kontrollikäsittelyn kasvu (kuvio 6).

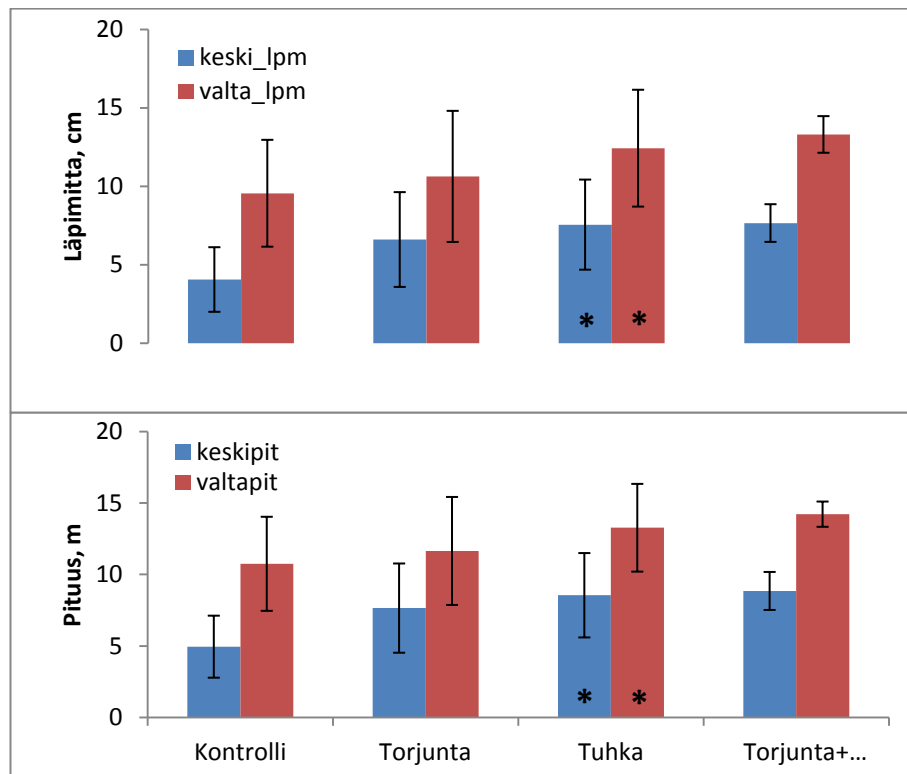


Kuvio 7. Käsittelyiden vaikutus männyn runkotilavuuteen ja pojpinta-alaan sekä tilastolliset merkitsevyydet eri käsittelyillä 21 vuotta istutuksesta. Runkotilavuus ja Pohjapinta-ala on määritelty s. 7 Käytetyt termit ja lyhenteet. Keskihajonta merkitty virhepalkilla.

### 3.2.2 Hieskoivun kasvu

Tällä kokeella tuhalla, torjunnalla eikä niiden yhdysvaikutuksella ole vaikutusta hieskoivun runkolukuun 21 vuotta istutuksesta. Istutustiheys oli 2500 kpl/ha. Kaikilla käsittelyillä istutustaimista oli kuollut noin puolet. Kontrolliruutujen keskiläpimitta 21 vuoden jälkeen oli 4 cm. Vain tuhkalannoitus on lisännyt puiden kasvua tilastollisesti merkitsevästi (kuvio 8). Rikkakasvien torjunta on lisännyt keskiläpimittaa 2,5

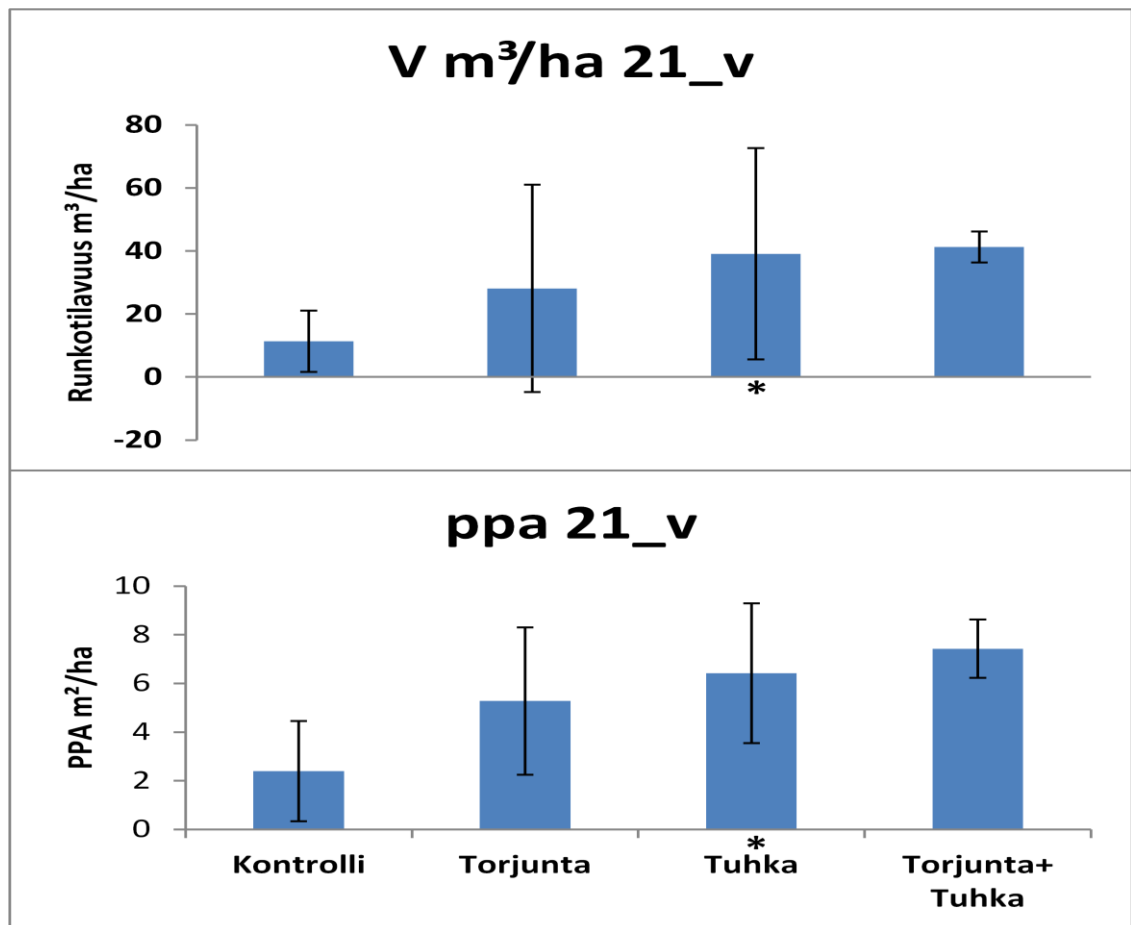
cm ( $p=0,100$ ), tuhka 3,5 cm ( $p=0,041$ ) ja torjunta+tuhka 3,6 cm ( $p=0,881$ ) 21 vuoden aikana. Kontrolliruutujen keskipituus samana ajankohtana oli 5 m. Tuhkalannoitus oli lisännyt keskipituutta 3,6 m ( $p=0,041$ ). Rikkakasvien torjunta lisäsi keskipituutta 2,7 m ( $p=0,089$ ) ja torjunta+tuhka 3,9 m ( $p=0,91$ ). Käsittelyiden vaikutukset puiden valtatunnuksiin (100 pisintä/paksuinta puuta/ha) olivat pienempiä kuin aritmaattisiin keskitunnuksiin.



Kuvio 8. Hieskoivun keski- ja valtaläpimitat, keski- ja valtapituudet sekä tilastolliset merkitsevyydet eri käsittelyillä 21 vuotta istutuksesta. Keskiahajonta merkitty virhepalkilla.

Hieskoivu on tuottanut 21 vuodessa enemmän runkotilavuutta kontrolli-, torjunta- ja tuhkakäsittelyillä kuin mänty. Torjunta+ tuhka käsittelyssä männyn keskimääräinen runkotilavuus on 65 m<sup>3</sup>/ha, kun koivun vastaava 41 m<sup>3</sup>/ha. Paras hieskoivu-ruutu on tuottanut runkopuuta yli 70 m<sup>3</sup>/ha. Hajonnat ja lohkojen väliset erot ovat kuitenkin suuria. Kontrolliruuduilla runkotilavuus oli keskimäärin 11 m<sup>3</sup>/ha, torjunta käsittelyllä 28 m<sup>3</sup>/ha ja tuhka käsittelyllä 39 m<sup>3</sup>/ha. Tuhkalannoituksella saatu juokseva vuotuinen runkotilavuuden lisäkasvu kontrolliin verrattuna on 1,3 m<sup>3</sup>/ha/v

( $p = 0,049$ ), mikä on  $0,2 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$  enemmän kuin männyn kasvun lisäys samalla käsittelyllä. Torjunta+ tuhka käsittelyllä saatiin hieskoivulla vain hieman lisäkasvua pelkkään tuhkalannoituskäsittelyyn verrattuna, vain  $0,1 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$  (kuvio 9). Torjunta+ tuhka käsittelyn osalta hieskoivun tuotos poikkeaa huomattavasti männyn tuotoksesta. Männyn tuotos torjunta+tuhka käsittelyillä oli  $1,6 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$  suurempi kuin pelkällä tuhkalannoituksella saatu runkopuun tuotonlisäys. Hieskoivua ei ole mitattu vuonna 2006. Viiden vuoden kasvutunnukset puuttuvat siten tuloksista.



Kuvio 9. Käsittelyiden vaikutus hieskoivun runkotilavuuteen ja pohjapinta-alaan sekä tilastolliset merkitsevyydet eri käsittelyillä 21 vuotta istutuksesta. Keskihajonta merkitty virhepalkilla.



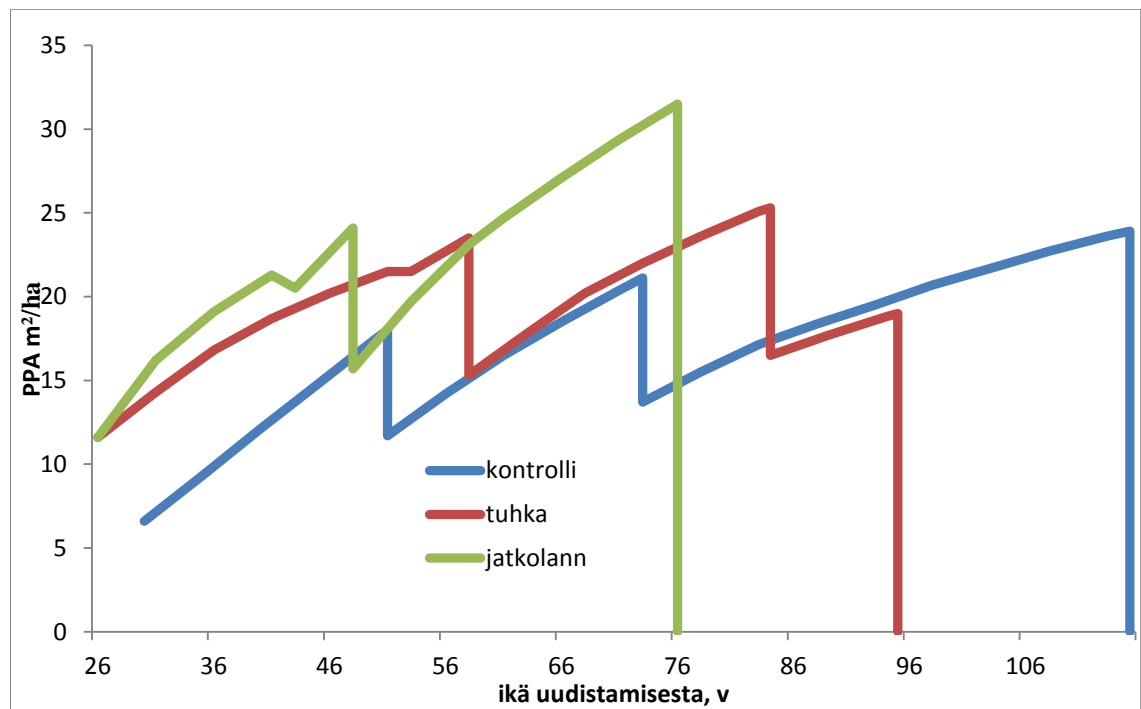
### 3.2.3 MOTTI- simulointi

Kappaleessa 2.6 kuvatulla menetelmällä voidaan havainnollistaa eri toimenpiteiden vaikutuksia metsänkasvatuksen kannattavuuteen. Eri kasvatusvaihtoehtojen runkopuun tuotos koko kiertoaikana oli 280- 330 m<sup>3</sup>/ha. Kontrollikäsittelyn runkopuuntuotoksesta oli hieskoivua 60 %. Tuhkalannoitetuilla kasvatusvaihtoehdoilla hieskoivun osuus oli kolmannes. Kasvatusvaihtoehtojen tukkiprosentit vaihtelivat 30-50 % ja olivat pienimmillään kontrollikäsittelyllä. Kaikissa kasvatusvaihtoehdoissa oli mukana taimikonhoito ja kaksi kunnostusojitusta kiertoajan kuluessa. Perustamisvaiheen tuhkalannoitus- ja kontrollikäsittelyillä tehtiin ensiharvennuksen lisäksi toinen harvennus. Jatkolannoituskäsittelyllä tehtiin ainoastaan ensiharvennus ennen päätehakkuuta.

Kun istutuksesta oli kulunut 48-58 vuotta kaikilla kasvatusvaihtoehdoilla tehtiin ensiharvennus. Kaksi tuhkalannoitusta saanut kasvatusvaihtoehto saavutti leimausrajan 10 vuotta aikaisemmin verrattuna yhden tuhkalannoituksen kasvatukseen (kuvio 10).

Kasvatusvaihtoehtojen käyrät kuvaavat metsikön pohjapinta-alan kehitystä. Kun pohjapinta-ala saavuttaa harvennusmalleissa kuvatus alarajan on metsikön harvennus ajankohtainen. Puuston pohjapinta-ala pudotetaan harvennuksessa metsänhoitosuosituksen tasolle. Harvennusmallit on laadittu kasvupaikkatyypeittäin ja puulajeittain. Harvennuksen jälkeinen puusto voidaan määritellä myös runkoluvun perusteella. Kun puusto on saavuttanut uudistamiskypsyyden tehdään päätehakkuu. Hoidetuissa metsiköissä uudistamiskypsyys määräytyy useimmiten puuston läpimitan perusteella.

Ensiharvennuksen hakkuukertymät olivat; 0-käsittely 29 m<sup>3</sup>/ha, 1 x tuhkalannoitus 45 m<sup>3</sup>/ha ja 2 x tuhkalannoitus 48 m<sup>3</sup>/ha. Toinen harvennus tehtiin noin 25 vuotta ensiharvennuksesta 0- käsittelyllä ja 1 x tuhkalannoituskäsittelyllä ja hakkuukertymät olivat 49 ja 68 m<sup>3</sup>/ha. Erilliskannattavuuksien laskennassa on käytetty 3 % korkokantaa.

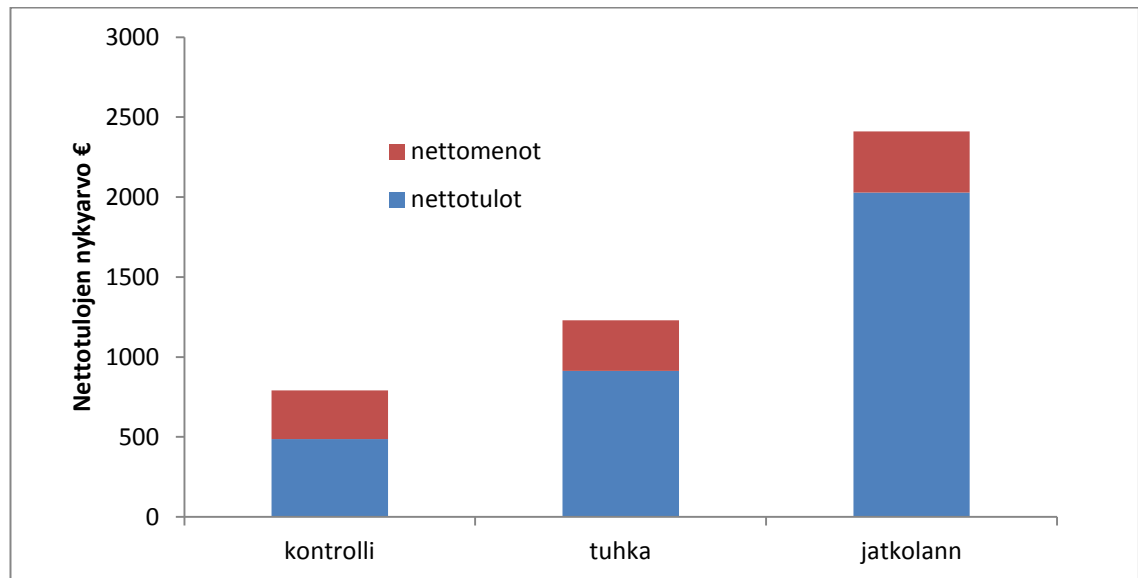


Kuvio 10. Pohjapinta-alan kehitys MOTTI-ohjelmalla eri kasvatusvaihtoehdoilla.

Metsänhoitosuositusten mukaan hoidetulla isovarpuisella rämeellä ilman lannoituksia on päätehakkuuvaiheessa kokeen leveysasteilla puuta keskimäärin 200 m³/ha. Yhden tuhkalannoituksen saaneella kasvatusvaihtoehdolla päätehakkuun kertymä oli vain 160 m³/ha. Järeää mäntyä oli kuitenkin kaksinkertainen määrä kontrollikäsittelyyn verrattuna. Kaksi kertaa tuhkalannoitetulla kasvatuksella saatiin päätehakkuussa ainespuuta 270 m³/ha, josta puolet oli järeää mäntyttukia.

Kasvatusvaihtoehtojen suurimmat kustannuserot syntyvät kiertoaikojen eroista. Pisin kiertoaika, 115 vuotta, oli kontrolli kasvatusvaihtoehdolla. Yhden tuhkalannoituksen kasvatusvaihtoehdolla metsikön kiertoaika oli 95 vuotta ja kahdella tuhkalannoituksella ja yhdellä harvennuksella kiertoaika oli 76 vuotta. Nettotulojen nyky-

arvolla mitaten metsikön kasvatus on kaikilla vaihtoehdoilla kannattavaa (kuvio 10). Laskelma perustuu oletukseen, että 0- käsittely vastaa isovarpuista rämettä ja tuhkalannoituksella muutetaan kasvupaikan oloja puuntuotannolle edullisempaan suuntaan.



Kuvio11. Nettotulojen nykyarvo 3 % korkokannalla eri kasvatusvaihtoehdoilla.

Nettotulojen nykyarvo kaksinkertaistuu kontrollikäsittelystä tuhka- ja edelleen jatkolannoituskäsittelyyn siirryttäessä. Jatkolannoituksella saatu nettotulojen nykyarvo on hieman yli 2000 €/ha. Mitattujen puustotunnusten perusteella ja tuhkalannoituksesta saatujen kokemusten mukaan ero voisi olla suurempikin. Jos esimerkiksi lannoittamaton kasvatusvaihtoehto taantuisi kitumaan tasolle ja kasvupaikka vastaisi rahkaista suota ei metsänkasvatus olisi enää kannattavaa. Toisaalta myös kaksi tuhkalannoitusta saaneen metsikön kasvupaikka voi puuston kasvultaan vastata mustikkaista kasvupaikkaa.

## 4 TULOSTEN TARKASTELU

Perustamisvaiheen lannoituksessa on tärkeää huolehtia taimikon varhaishoidosta. Tuhkalannoitus muuttaa runsastyypisen suon aluskasvillisuutta muutamassa vuodessa. Ruoho- ja heinäkasvit yleistyvät (Silfverberg ym. 2010) ja pintakasvillisuuden peittävyys ja pituus lisääntyvät. Tämän tutkimuksen mukaan tuhka on lisännyt rikkakasvien keskipituutta taimikon alkuvaiheessa. Tämä voi lisätä taimien kuolleisuutta. Pelkkä istutusvaiheessa tehty rikkakasvien kemiallinen torjunta ei ole riittävän pitkäkestoinen toimenpide lannoitetuilla entisillä peltomaan kohteilla. Tässä aineistossa vasta viiden vuoden kuluttua lannoitettujen ruutujen männyt olivat riittävän (> 1m) pitkiä selvittääkseen rikkakasvien aiheuttamista tuhoista.

Kokeen puuston kuolleisuus on ollut huomattava. Kontrolliruutujen männyistä oli kuollut 54 % vuonna 2006. Keskimäärin puolet koivuista kaikilla käsittelyillä oli kuollut 21 vuotta istutuksen jälkeen. Rikkakasvien torjuntakäsittelyllä mäntyjen kuolleisuus oli ainoastaan 7 % vuonna 2006, mutta ravinnepuutosoireita esiintyi 80 % männyistä. Pelkällä tuhkalannoituksella mäntyjen kuolleisuus nousi, mutta ravinnepuutosoireet eliminoituivat lähes kokonaan. Hirvituhojen määrä korreloi taimien keskipituuden kanssa ( $R=0,717$ ). Männyksen keskipituuden kasvaessa 2,5 metristä 4,5 metriin, hirvituhojen osuus laski 70 %:a 25 %:n. Tuhkalannoitus ja rikkakasvientorjunta vaikuttavat hirvituhojen määrään nopeamman pituuskasvun kautta.

Maa-analyysitulokset (taulukko 5) eivät suoraan kerro tulevista puiden ravinnepuutoksista. Neljä vuotta kokeen perustamisen jälkeen kontrolliruuduilta otetuista neulasnäytteistä ilmeni kuitenkin voimakas kaliumin puutos. Tuhkalannoitus lisäsi neulasten kaliumpitoisuutta 10-15 % 9 vuotta lannoituksesta. Tuhkan vaikutus on lopunut 21 vuotta lannoituksesta ja neulasten kaliumpitoisuudet ovat nyt kontrolliruutujen tasolla. Tuhkalannoitus lisäsi myös neulasten booripitoisuuksia. Lannoitusvaikutus neulasten booripitoisuuteen on ollut vielä lyhytkestoisempi kuin kaliumpitoisuuteen. Nyt boorin lisäksi myös fosforipitoisuudet ovat lähellä lannoitustarpeen raja-arvoja. Kontrollikäsittelyllä neulasten fosforipitoisuus vuonna 2011 oli 1,43

mg/g ja tuhkalannoituskäsittelyllä 1,56 mg/g. Fosforilannoituksen alarajana pidetään 1,3 mg/g. Tämän tyyppisillä kasvupaikoilla (rahkainen rämeletto RaRL) voidaan odottaa fosforipuutoksia, joita Reinikaisen ym. 1998 mukaan ilmenee erityisesti rimpisillä, rahkaisilla ja lettosilla soilla. Tuhkan kasvuvaste näkyy edelleen, mutta vaikutus on loppumassa ja jatkolannoitus voi tulla lähiaikoina ajankohtaiseksi. Toinen syy tuhkalannoituksen lyhytkestoisuuteen saattaa olla käytetyn tuhkan matalat ravinnepitoisuudet. Tärkeimpien ravinteiden osalta (P, K, Ca, Mg, B) Vuolijoen kuorituhkan ravinnepitoisuudet olivat 30-50 % hyvän puuntuhkan ravinnepitoisuuksista mm. (Silfverberg 1988, 56:62)

Rikkakasvien torjunta ei lisännyt männyn kasvua viimeisenä viitenä vuotena. Kuitenkin se on lisännyt männyn tilavuutta 0,5 m<sup>3</sup>/ha/v 21 vuodessa. Tuhkalannoitus lisäsi männyn runkotilavuuden kasvua vuosina 2006-2011 keskimäärin 2,1 ja torjunta+ tuhkakäsittely 4,6 m<sup>3</sup>/ha/v. Koko kehitysjakson aikana 21 vuodessa tuhka lisäsi männyn runkotilavuutta kontrolliin verrattuna 1,1 m<sup>3</sup>/ha/v ja torjunta+ tuhkakäsittely 2,7 m<sup>3</sup>/ha/v. Ainoastaan tuhkalannoituksen tulos oli tilastollisesti merkitsevä.

Hieskoivu oli viimeisimmässä puustomittauksessa vuoden vanhempaa kuin mänty. Vuonna 2006 hieskoivua ei mitattu, joten tuloksista puuttuu viimeisen viiden vuoden kasvut. Istutettu hieskoivu on tuottanut runkopuuta enemmän kuin mänty muilla paitsi torjunta+ tuhka käsittelyllä. Tuhkalannoitetuilla ruuduilla hieskoivut olivat keskimäärin 3,6 metriä pidempiä kuin kontrolliruuduilla ja kolme metriä pidempiä kuin tuhkaa saaneet männyt. Tuhkalannoitus on lisännyt hieskoivun runkotilavuutta tilastollisesti merkitsevästi 22 vuodessa 28 m<sup>3</sup>/ha. Juoksevaa vuotuista runkotilavuuden kasvua tuhka on lisännyt 1,3 m<sup>3</sup>. Luontaiset hieskoivut täydentävät paikoin harvaa istutustaimikkoa. Luontaisesti syntyneiden koivujen keskipituus oli 4-5 metriä ja tiheys noin 6000/ha. Tuhkalannoitetulla käsittelyllä istutetun hieskoivun runkotilavuus oli 39 m<sup>3</sup> ja kontrolliruuduilla keskimäärin 11 m<sup>3</sup>/ha 22 vuotta istutuksesta. Jos laadullisia eroja ei huomioida, niin tuhkalannoitetun hieskoivun kasvatus sellun tai energian raaka-aineeksi on kilpailukykyinen vaihtoehto männyn kasvatukselle. Ilman tuhkalannoitusta sekä männyn, että hieskoivun kasvu tähän mennessä on vastannut kitumaan kasvua (<1m<sup>3</sup>/ha/v).

Simuloinnin tarkoituksena oli tarkastella tuhkan käytön erilliskannattavuutta niukkaravinteisella pellonmetsityskohteella. Taimikoiden lannoitusten vaikutuksia kuvaavia malleja ei Motissa ole. Lannoitusmallit on tehty varttuneiden puiden kasvureaktion ennustamiseen. Tuhkalannoituksella saadut kannattavuuserot perustuivat vakiintuneen taimikon parempaan alkutilanteeseen ja välipituusmenetelmällä korjattuun kasvupaikkatyyppiin. Turvepelloilla ravinnetila saattaa olla usein myös epätasapainoinen, joka aiheuttaa osaltaan epävarmuutta kasvuennusteissa. Eri kasvatusvaihtoehtoissa käytetyt metsikkötoimenpiteet perustuvat metsänhoitosuosituksiin. Yksittäistapauksissa ne eivät välttämättä ole aina taloudellisin vaihtoehto, mutta näin menetellen eri vaihtoehdot saatiin vertailukelpoisiksi. Taimikonhoito kasvatuksen alkuvaiheessa on perusteltu toimenpide. Kahden kunnostusojituksen malli ei enää välttämättä lisää taloudellista tulosta ainakaan jatkolannoitus vaihtoehdossa, jossa kiertoaika on lyhempi. Kasvatusohjelmissa käytetyt tukkiprosentit ovat turvemaan pellonmetsityskohteille korkeat. Jos tukkiprosentti laskee kymmeneen, niin parhaan kasvatusohjelman nettotulojen nykyarvosta häviää puolet. Lähtökohtana oli tuhkalannoituksen kannattavuuden arviointi. Eri kasvatusohjelmilla saatavat kannattavuustason erot eivät välttämättä muuta tuhkalannoituksen suhteellista kannattavuutta lannoittamattomaan vaihtoehtoon verrattuna.

Nykyarvomenetelmällä saadaan tietoa sijoituksen kannattavuudesta. Ei niinkään sen suuruudesta. Jos tulojen ja menojen diskontattu nykyarvo on positiivinen, niin investointi on kannattava. Menetelmällä voidaan havainnollistaa eri toimenpiteiden vaikutusta kannattavuuteen. Kuvatulla menetelmällä toteutetuissa kannattavuuslaskelmissa tuhkan jatkolannoitus kasvatusvaihtoehdossa nettotulojen nykyarvoksi saatiin noin 2000 €/ha. Ilman lannoituksia metsikön nettotulojen nykyarvo oli 500 €/ha. Kun istutuksesta oli kulunut 21 vuotta niin lannoittamattomien koeruutujen mitattu kasvu vastaa rahkaista rämettä. Jos metsänhoidollisilla toimenpiteillä tuotosta ei pystytä lisäämään, niin metsänkasvatus ei ole kannattavaa ilman lannoitusta.

## LÄHTEET

- Ferm, A., Hytönen, J., Koski, K., Vihanta, S. & Kohal, O. 1993. Peltojen metsitysmenetelmät, kenttäkokeiden esittely ja metsitysten kehitys kolmen ensimmäisen vuoden aikana. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 463. 127s.
- Halonen, O., Tulkki, H., Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121.
- Heinonen, J. 1994. Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL käyttöohje. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504.
- Henttonen, H., Niemimaa, J., Kaikusao, A. 1995. Myyrät ja pellonmetsitys. Peltojen metsitysmenetelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 581: 97-117.
- Hynönen, J. 1992. Maan ominaisuuksien vaikutus turvepeltojen metsittämiseen. Tutkielma maatalous- ja metsätieteiden lisensiaatin tutkintoa varten. Helsingin Yliopisto. 181 s.
- Hytönen, J. 1991a. Peltojen metsityksen tuloksia Keski-Pohjanmaalta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 394: 18-30.
- 1991b. Pellonmetsityksen onnistuminen Keski-Pohjanmaalla. Abstract: Field afforestation in central Ostrobothnia, western Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 391: 22-28.
- 1993. Hytönen, J & Ekola, E. 1993. Maan ja puuston ravinnetila Keski-Pohjanmaan metsitetyillä pelloilla. Folia Forestalia 822.
- Hytönen & Polet 1995. Peltojen metsitysmenetelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 581.
- Hytönen, J., Lilja, S. 1995. Pintakasvillisuuden torjunnan vaikutus taimien ensikehitykseen pellonmetsitysalloilla. Peltojen metsitysmenetelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 581: 63-73.
- Hytönen, J. 2003. Effects of wood, peat and coal fertilization on scots pine foliar nutrient concentrations and growth on afforested former agricultural peat soils. Silva Fennica 37(2): 219-234.
- Häggglund, B. 1981. Evaluation of forest site productivity. Forestry Abstracts 1981 Vol 42 No. 11.

Kansallinen metsäohjelma 2015. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisu- ja 3/2008. [viitattu 10.2.2012]. Saatavana: [http://www.mmm.fi/attachments/metsat/kmo/5ywg0T9jr/3\\_2008FI\\_net.tif](http://www.mmm.fi/attachments/metsat/kmo/5ywg0T9jr/3_2008FI_net.tif).

Kiirikki, M. Seed bank and vegetation succession in abandoned fields in Karkali Nature Reserve, southern Finland. *Annales Botanici Fennici* 30: 139-152.

Kotilainen, M. 1935. Soiden viljelykelpoisuuteen vaikuttavista tekijöistä ja valtionmaiden soiden viljelykelpoisuudesta lähinnä niiden asutusmahdollisuuksia silmällä pitäen. [viitattu 7.2.2012]. Saatavana: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/13905/039\\_16.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/13905/039_16.pdf?sequence=1).

Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M., Asikainen, A. Met-sähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämis tarpeet. VTT tiedotteita 2564:9.

Lauhanen, R., Moilanen, M., Silfverberg, K., Takamaa, H. & Issakainen, J. 1997. Puutuhkalannoituksen kannattavuus eräissä ojitusalue-  
emänniköissä. Summary: The profitability of wood ash-fertilizing of drained peatland Scots pine stands. *Suo* 48(3): 71–82.

Luonnontila sivustot. [Viitattu 26.1.2012]. Saatavana: <http://www.luonnontila.fi/fi/indikaattorit/maatalousymparistot/ma5-peltojen-raivaus-ja-metsitys>.

Lötjönen, T., Pitkänen, J., Vanhala, P., Jalli, M., Mikkola, H. 1999. Kyn-tämättä viljelyn vaikutus rikkakasveihin ja kasvitauteihin. Kirjallisuuskat-saus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 59.

Malmstöm, C. 1952. Svenska gödslingsförsök för belysande av de nä-ringsekologiska villkoren för skogsväxt på torvmark. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40 (17):1-26.

Matilda maataloustilastot. [Viitattu 25.1.2012]. Saatavana: [http://www.maataloustilastot.fi/käytössä-oleva-maatalousmaa-2011\\_fi](http://www.maataloustilastot.fi/käytössä-oleva-maatalousmaa-2011_fi).

Metsätilastollinen vuosikirja 2011. Metsäntutkimuslaitos.

Metsä vastaa.net. Tuet taulukkona. [viitattu 27.1.2012]. Saatavana: [http://www.metsavastaa.net/tuet\\_taulukkonametsanuudistaminen](http://www.metsavastaa.net/tuet_taulukkonametsanuudistaminen).

MMM. Töryhmämuistio. 2011. [viitattu 10.2.2012]. Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=134320&lan=fi>.



Moilanen, M. Tillman-Sutela, E. 2009. Motiva. Metsätuhkan ravinteet takaisin metsään. [viitattu 10.2.2012]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/files/3014/Metsatuhkan\\_ravinteet\\_takaisin\\_metsaan.pdf](http://www.motiva.fi/files/3014/Metsatuhkan_ravinteet_takaisin_metsaan.pdf).

Motti-ohjelmiston käyttöohje Ver. 3.0. Metla 2005. Saatavana: <http://www.metla.fi/metinfo/motti/>.

Myllys, M. 2011. Suoseuran seminaari 23.3.2011. [Viitattu 26.1.2012]. Saatavana: <http://www.suoseura.fi/fin/kevat2011/Myllys.pdf>.

Myllys, M. & Soini, S. 2008. Suot maanviljelyssä. Teoksessa: Korhonen, L., Korpela, L. & Sarkkola, S. (toim.).

Reinikainen, A., Veijalainen, H., Nousiainen, H. 1998. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688: 20.

Robinson, G. 1987. Resource economics for foresters (144-150).

Saarela, I., Vuorinen, M., Puustinen. 2008. Turvemaiden fosforitalous maatalouden ja ympäristön kannalta. Maataloustieteen päivät 2008.

Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turve-  
mailla. Folia Forestalia 633.

Silfverberg, K. 1988. Erilaisten tuhkien ominaisuuksista ja käyttökelpoisuudesta suometsien lannoituksessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 295:56-62.

Silfverberg, K. 1991. Träaska, PK-gödsel och markförbättringsmedel på dränerande tallmyrar. Suo 42(2): 33-44.

Silfverberg, K., Huotari, N., Kokkonen, A-M. 2010. Metsätieteen aikakauskirja 4/2010: 341-353.

Suomi - Suomaa -soiden ja turpeen tutkimus sekä kestävä käyttö. ss. 56–66. Suoseura ry ja Maahenki Oy. ISBN 978-952-5652-49-9.

Tilli, T. & Toivonen, R. Maatalousmaan metsityksen näkymät Suomessa ja hiilinielupotentiaali vuosina 2000 – 2012. Pellervon taloudellisen tutkimuslaitoksen raportteja N:o 170. Helsinki 2000.

Varmola, M. 1993. Folia Forestalia 813: 32-43.

Wall, A. 1998. Peltomaan muutos metsämaaksi – metsitettyjen peltojen maan ominaisuudet, kasvillisuuden kehitys ja lajimäärä. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 3/1998: 443–450.

Wikipedia, Suo. [viitattu 30.1.2012]. Saatavana: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Suo>.

Wikipedia, Happamuus. [viitattu 4.2.2013]. Saatavana: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Happamuus>).

Wikipedia, Aas. [viitattu 4.2.2013]. Saatavana: <http://fi.wikipedia.org/wiki/AAS>.

Ympäristövaliokunnan lausunto 11/2011. [Viitattu 27.1.2011]. Saatavana:[http://www.eduskunta.fi/faktatatmp/utatmp/akxtmp/Ymvl\\_11\\_2011\\_p\\_shtml](http://www.eduskunta.fi/faktatatmp/utatmp/akxtmp/Ymvl_11_2011_p_shtml).

Yhteensä 43 viitettä

## LIITTEET

Liite 1: Koe- ja käsittelykartta, indeksikartta s. 1

Liite 2: Varianssianalyysit: (IBM SPSS ® Statistics 2011)

Neulasten N- ja P-pitoisuudet s. 2-3

Männyn- ja hieskoivun runkoluku s. 4

Neulasten K-pitoisuudet s. 5

Neulasten Ca-pitoisuudet s. 6

Neulasten B-pitoisuudet s. 7

Neulasten Mg-pitoisuudet s. 8

Neulasten Mn-pitoisuudet s. 9

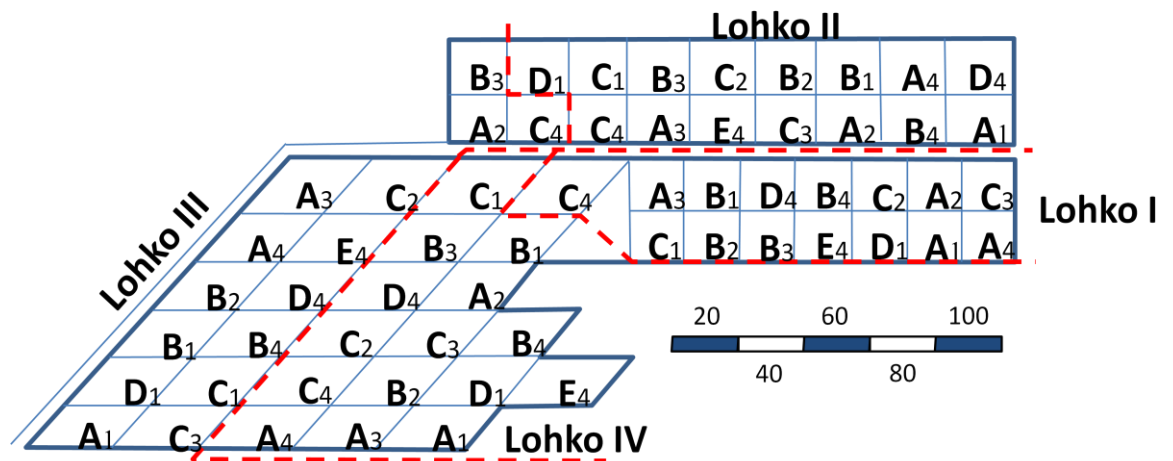
Männyn pohjapinta-ala, keskiläpimitta- ja pituus, runkotilavuus, ainespuun määrä s. 10-11

Hieskoivun pohjapinta-ala, keskiläpimitta- ja pituus, valtaläpimitta- ja pituus, istutustaimien runkotilavuus, runkotilavuus yht., kuolleisuus -93, ainespuun määrä s. 12-13

---

## Liite 1

## Vuolijoen koe- ja indeksikartta



- |               |                                    |
|---------------|------------------------------------|
| A: mänty      | 1: kontrolli                       |
| B: kuusi      | 2: heinäntorjunta                  |
| C: hieskoivu  | 3: tuhkalannoitus                  |
| D: mustakuusi | 4: heinäntorjunta + tuhkalannoitus |



50 km

## LIITE 2 Varianssianalyysit

### Neulasten N ja P-pitoisuudet 4, 9 ja 21 vuotta lannoituksesta

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,250 <sup>a</sup>	4	,063	2,236	,131
	N_P_21v				
	N_N_21v				
	N_N_9v				
	N_P_9v				
	N_N_4v				
	N_P_4v				
Intercept	N_P_21v	1	7,946	284,018	,000
	N_N_21v	1	7,784	393,521	,000
	N_N_9v	1	7,649	677,758	,000
	N_P_9v	1	10,246	613,882	,000
	N_N_4v	1	5,276	335,517	,000
	N_P_4v	1	6,135	1038,198	,000
torjunta	N_P_21v	1	,065	2,334	,155
	N_N_21v	1	3,882E-05	,002	,965
	N_N_9v	1	,023	2,005	,185
	N_P_9v	1	,011	,655	,436
	N_N_4v	1	2,385E-06	,000	,990
	N_P_4v	1	,027	4,580	,056
tuhka	N_P_21v	1	,034	1,220	,293
	N_N_21v	1	,013	,652	,436
	N_N_9v	1	,019	1,713	,217
	N_P_9v	1	,021	1,233	,290
	N_N_4v	1	,003	,177	,682
	N_P_4v	1	,003	,524	,484

torjunta * tuhka	N_P_21v	,019	1	,019	,692	,423
	N_N_21v	,048	1	,048	2,413	,149
	N_N_9v	,004	1	,004	,326	,580
	N_P_9v	,052	1	,052	3,123	,105
	N_N_4v	,005	1	,005	,302	,594
	N_P_4v	,023	1	,023	3,826	,076
xturve	N_P_21v	,111	1	,111	3,953	,072
	N_N_21v	,035	1	,035	1,762	,211
	N_N_9v	,038	1	,038	3,374	,093
	N_P_9v	,021	1	,021	1,259	,286
	N_N_4v	,041	1	,041	2,589	,136
	N_P_4v	,009	1	,009	1,522	,243
Error	N_P_21v	,308	11	,028		
	N_N_21v	,218	11	,020		
	N_N_9v	,124	11	,011		
	N_P_9v	,184	11	,017		
	N_N_4v	,173	11	,016		
	N_P_4v	,065	11	,006		
Total	N_P_21v	40,185	16			
	N_N_21v	43,304	16			
	N_N_9v	42,152	16			
	N_P_9v	59,328	16			
	N_N_4v	38,847	16			
	N_P_4v	41,335	16			
Corrected Total	N_P_21v	,558	15			
	N_N_21v	,303	15			
	N_N_9v	,194	15			
	N_P_9v	,307	15			
	N_N_4v	,221	15			
	N_P_4v	,119	15			

a. R Squared = ,448 (Adjusted R Squared = ,248)

b. R Squared = ,281 (Adjusted R Squared = ,020)

c. R Squared = ,359 (Adjusted R Squared = ,126)

d. R Squared = ,401 (Adjusted R Squared = ,184)

e. R Squared = ,218 (Adjusted R Squared = -,067)

f. R Squared = ,452 (Adjusted R Squared = ,253)

**Dependent Variable: Männyn runkoluku\_21v**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5866875,000 <sup>a</sup>	3	1955625,000	3,059	,069
Intercept	43890625,000	1	43890625,000	68,646	,000
torjunta * tuhka	180625,000	1	180625,000	,283	,605
torjunta	4305625,000	1	4305625,000	6,734	,023
tuhka	1380625,000	1	1380625,000	2,159	,167
Error	7672500,000	12	639375,000		
Total	57430000,000	16			
Corrected Total	13539375,000	15			

a. R Squared = ,433 (Adjusted R Squared = ,292)

**Dependent Variable: Hieskoivun runkoluku\_21v**

Dependent Variable: runkoluku

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	65000,000 <sup>a</sup>	3	21666,667	,244	,864
Intercept	24010000,000	1	24010000,000	270,535	,000
torjunta	40000,000	1	40000,000	,451	,515
tuhka	2500,000	1	2500,000	,028	,870
torjunta * tuhka	22500,000	1	22500,000	,254	,624
Error	1065000,000	12	88750,000		
Total	25140000,000	16			
Corrected Total	1130000,000	15			

a. R Squared = ,058 (Adjusted R Squared = -,178)

(IBM SPSS ® Statistics 2011)

## Neulasten Kaliumpitoisuudet 4, 9 ja 21 v lannoituksesta

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2,132 <sup>a</sup>	4	,533	1,627	,236
	N_K_9v	4	,547	3,018	,066
	N_K_21v	4	,105	,660	,633
Intercept	N_K_4v	1	33,946	103,637	,000
	N_K_9v	1	32,102	177,168	,000
	N_K_21v	1	19,871	124,532	,000
xturve	N_K_4v	1	,047	,144	,711
	N_K_9v	1	,169	,930	,356
	N_K_21v	1	,094	,590	,458
torjunta	N_K_4v	1	,000	,001	,979
	N_K_9v	1	,749	4,132	,067
	N_K_21v	1	,011	,071	,795
tuhka	N_K_4v	1	2,089	6,379	,028
	N_K_9v	1	1,375	7,589	,019
	N_K_21v	1	,336	2,108	,174
torjunta * tuhka	N_K_4v	1	,015	,046	,834
	N_K_9v	1	,029	,158	,699
	N_K_21v	1	,015	,096	,763
Error	N_K_4v	11	,328		
	N_K_9v	11	,181		
	N_K_21v	11	,160		
Total	N_K_4v	16			
	N_K_9v	16			
	N_K_21v	16			
Corrected Total	N_K_4v	15			
	N_K_9v	15			
	N_K_21v	15			

a. R Squared = ,372 (Adjusted R Squared = ,143)

b. R Squared = ,523 (Adjusted R Squared = ,350)

c. R Squared = ,193 (Adjusted R Squared = -,100)



## Neulasten Kalsiumpitoisuudet 4, 9 ja 21 v lannoituksesta

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,423 <sup>a</sup>	4	,106	1,247	,347
	N_Ca_4v				
	N_Ca_9v	4	,007	1,129	,392
	N_Ca_21v	4	,289	5,480	,011
Intercept	N_Ca_4v	1	5,684	66,999	,000
	N_Ca_9v	1	1,975	331,123	,000
	N_Ca_21v	1	5,113	97,029	,000
xturve	N_Ca_4v	1	,273	3,223	,100
	N_Ca_9v	1	,018	3,029	,110
	N_Ca_21v	1	,146	2,775	,124
torjunta	N_Ca_4v	1	,000	,004	,948
	N_Ca_9v	1	,003	,525	,484
	N_Ca_21v	1	,282	5,344	,041
tuhka	N_Ca_4v	1	,114	1,345	,271
	N_Ca_9v	1	,007	1,225	,292
	N_Ca_21v	1	,708	13,440	,004
torjunta * tuhka	N_Ca_4v	1	,022	,255	,623
	N_Ca_9v	1	,001	,114	,742
	N_Ca_21v	1	,085	1,614	,230
Error	N_Ca_4v	11	,085		
	N_Ca_9v	11	,006		
	N_Ca_21v	11	,053		
Total	N_Ca_4v	16			
	N_Ca_9v	16			
	N_Ca_21v	16			
Corrected Total	N_Ca_4v	15			
	N_Ca_9v	15			
	N_Ca_21v	15			

a. R Squared = ,312 (Adjusted R Squared = ,062)

b. R Squared = ,291 (Adjusted R Squared = ,033)

c. R Squared = ,666 (Adjusted R Squared = ,544)

## Neulasten Booripitoisuudet 4, 9 ja 21 v lannoituksesta

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	195,397 <sup>a</sup>	4	48,849	4,506	,021
	N_B_9v	4	15,810	1,572	,250
	N_B_21v	4	12,145	1,148	,385
Intercept	N_B_4v	1	430,789	39,734	,000
	N_B_9v	1	325,189	32,327	,000
	N_B_21v	1	113,074	10,684	,007
xturve	N_B_4v	1	23,709	2,187	,167
	N_B_9v	1	21,462	2,134	,172
	N_B_21v	1	21,233	2,006	,184
torjunta	N_B_4v	1	2,692	,248	,628
	N_B_9v	1	10,896	1,083	,320
	N_B_21v	1	,053	,005	,945
tuhka	N_B_4v	1	157,076	14,488	,003
	N_B_9v	1	28,307	2,814	,122
	N_B_21v	1	16,558	1,565	,237
torjunta * tuhka	N_B_4v	1	,693	,064	,805
	N_B_9v	1	2,030	,202	,662
	N_B_21v	1	4,485	,424	,528
Error	N_B_4v	11	10,842		
	N_B_9v	11	10,059		
	N_B_21v	11	10,584		
Total	N_B_4v	16			
	N_B_9v	16			
	N_B_21v	16			
Corrected Total	N_B_4v	15			
	N_B_9v	15			
	N_B_21v	15			

a. R Squared = ,621 (Adjusted R Squared = ,483)

b. R Squared = ,364 (Adjusted R Squared = ,132)

c. R Squared = ,294 (Adjusted R Squared = ,038)

## Neulasten Magnesiumpitoisuudet 4, 9 ja 21 v lannoituksesta

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,054 <sup>a</sup>	4	,014	1,637	,234
	N_Mg_4v				
	N_Mg_9v	4	,076	3,346	,050
	N_Mg_21v	4	,085	8,821	,002
Intercept	N_Mg_4v	1	2,197	264,233	,000
	N_Mg_9v	1	3,627	158,843	,000
	N_Mg_21v	1	3,562	370,157	,000
xturve	N_Mg_4v	1	,003	,331	,577
	N_Mg_9v	1	,302	13,222	,004
	N_Mg_21v	1	,002	,211	,655
torjunta	N_Mg_4v	1	,000	,041	,843
	N_Mg_9v	1	,011	,464	,510
	N_Mg_21v	1	,178	18,547	,001
tuhka	N_Mg_4v	1	,017	1,992	,186
	N_Mg_9v	1	,001	,031	,863
	N_Mg_21v	1	,078	8,105	,016
torjunta * tuhka	N_Mg_4v	1	,032	3,881	,075
	N_Mg_9v	1	,004	,163	,694
	N_Mg_21v	1	,068	7,081	,022
Error	N_Mg_4v	11	,008		
	N_Mg_9v	11	,023		
	N_Mg_21v	11	,010		
Total	N_Mg_4v	16			
	N_Mg_9v	16			
	N_Mg_21v	16			
Corrected Total	N_Mg_4v	15			
	N_Mg_9v	15			
	N_Mg_21v	15			

a. R Squared = ,373 (Adjusted R Squared = ,145)

b. R Squared = ,549 (Adjusted R Squared = ,385)

c. R Squared = ,762 (Adjusted R Squared = ,676)

## Neulasten Mangaanipitoisuudet 4, 9 ja 21 v lannoituksesta

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	24070,787 <sup>a</sup>	4	6017,697	,721	,596
	55687,162 <sup>b</sup>	4	13921,791	2,070	,153
	144685,800 <sup>c</sup>	4	36171,450	3,410	,048
Intercept	401768,731	1	401768,731	48,113	,000
	296330,879	1	296330,879	44,067	,000
	617470,789	1	617470,789	58,210	,000
xturve	349,599	1	349,599	,042	,842
	7718,405	1	7718,405	1,148	,307
	1020,488	1	1020,488	,096	,762
torjunta	3241,460	1	3241,460	,388	,546
	294,732	1	294,732	,044	,838
	36,624	1	36,624	,003	,954
tuhka	3513,111	1	3513,111	,421	,530
	13822,267	1	13822,267	2,055	,179
	105535,707	1	105535,707	9,949	,009
torjunta * tuhka	16916,435	1	16916,435	2,026	,182
	30986,492	1	30986,492	4,608	,055
	36810,218	1	36810,218	3,470	,089
Error	91856,151	11	8350,559		
	73970,387	11	6724,581		
	116684,699	11	10607,700		
Total	2500635,000	16			
	2578178,350	16			
	4426929,039	16			
Corrected Total	115926,938	15			
	129657,549	15			
	261370,499	15			

a. R Squared = ,208 (Adjusted R Squared = -,080)

b. R Squared = ,429 (Adjusted R Squared = ,222)

c. R Squared = ,554 (Adjusted R Squared = ,391)

**Männyn pohjapinta-ala, keskiläpimitta, keskipituus,  
runkotilavuus ja ainespuumäärä mittausajankohtina**

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	ppa_21v	393,530 <sup>a</sup>	4	98,383	7,910	,003
	d_mean_21v	31,276 <sup>b</sup>	4	7,819	2,111	,148
	H_mean21v	15,301 <sup>c</sup>	4	3,825	2,205	,135
	V_m3ha_21c	7587,744 <sup>d</sup>	4	1896,936	9,306	,002
	Käyttöosa_lperpuu_21v	1796,922 <sup>e</sup>	4	449,231	4,586	,020
Intercept	ppa_21v	283,077	1	283,077	22,761	,001
	d_mean_21v	158,243	1	158,243	42,728	,000
	H_mean21v	126,839	1	126,839	73,112	,000
	V_m3ha_21c	4601,363	1	4601,363	22,573	,001
	Käyttöosa_lperpuu_21v	2915,032	1	2915,032	29,756	,000
xturve	ppa_21v	27,118	1	27,118	2,180	,168
	d_mean_21v	3,714	1	3,714	1,003	,338
	H_mean21v	4,889	1	4,889	2,818	,121
	V_m3ha_21c	412,152	1	412,152	2,022	,183
	Käyttöosa_lperpuu_21v	431,632	1	431,632	4,406	,060
torjunta	ppa_21v	76,367	1	76,367	6,140	,031
	d_mean_21v	,015	1	,015	,004	,950
	H_mean21v	,006	1	,006	,003	,956
	V_m3ha_21c	1352,150	1	1352,150	6,633	,026
	Käyttöosa_lperpuu_21v	36,802	1	36,802	,376	,552
tuhka	ppa_21v	251,561	1	251,561	20,227	,001
	d_mean_21v	26,853	1	26,853	7,251	,021
	H_mean21v	10,907	1	10,907	6,287	,029
	V_m3ha_21c	5054,761	1	5054,761	24,798	,000
	Käyttöosa_lperpuu_21v	1442,925	1	1442,925	14,729	,003
torjunta * tuhka	ppa_21v	20,817	1	20,817	1,674	,222
	d_mean_21v	1,176	1	1,176	,317	,584
	H_mean21v	,043	1	,043	,025	,878
	V_m3ha_21c	470,427	1	470,427	2,308	,157
	Käyttöosa_lperpuu_21v	,044	1	,044	,000	,984

**Männyn pohjapinta-ala, keskiläpimitta, keskipituus,  
runkotilavuus ja ainespuumäärä mittaajajankohdina**

Error	ppa_21v	136,809	11	12,437		
	d_mean_21v	40,739	11	3,704		
	H_mean21v	19,084	11	1,735		
	V_m3ha_21c	2242,253	11	203,841		
	Käyttöosa_lperpuu_21v	1077,608	11	97,964		
Total	ppa_21v	1440,870	16			
	d_mean_21v	805,070	16			
	H_mean21v	569,150	16			
	V_m3ha_21c	25020,560	16			
	Käyttöosa_lperpuu_21v	10530,780	16			
Corrected	ppa_21v	530,339	15			
Total	d_mean_21v	72,014	15			
	H_mean21v	34,384	15			
	V_m3ha_21c	9829,998	15			
	Käyttöosa_lperpuu_21v	2874,530	15			

- a. R Squared = ,742 (Adjusted R Squared = ,648)  
b. R Squared = ,434 (Adjusted R Squared = ,229)  
c. R Squared = ,445 (Adjusted R Squared = ,243)  
d. R Squared = ,772 (Adjusted R Squared = ,689)  
e. R Squared = ,625 (Adjusted R Squared = ,489)

**Hieskoivun pohjapinta-ala, keski- ja valtaläpimitta, keski- ja valtapituus  
runkotilavuus ko, runkotilavuus yht., kuolleisuus 1993, ainespuumäärä mittausajankohtina**

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	ppa	106,083 <sup>a</sup>	4	26,521	3,195	,057
	keski_lpm	55,968 <sup>b</sup>	4	13,992	3,275	,053
	keski_pit	60,496 <sup>c</sup>	4	15,124	3,189	,057
	valta_lpm	62,813 <sup>d</sup>	4	15,703	1,648	,231
	valtapit	47,555 <sup>e</sup>	4	11,889	1,488	,272
	V_ist_ko	4963,561 <sup>f</sup>	4	1240,890	3,211	,056
	tilavuus_yht	4618,930 <sup>g</sup>	4	1154,733	2,654	,090
	keskipit93	1271,195 <sup>h</sup>	4	317,799	1,982	,167
	kuoll93	210,795 <sup>i</sup>	4	52,699	1,917	,178
Intercept	ppa	195,668	1	195,668	23,574	,001
	keski_lpm	176,845	1	176,845	41,398	,000
	keski_pit	218,072	1	218,072	45,986	,000
	valta_lpm	429,840	1	429,840	45,118	,000
	valtapit	445,973	1	445,973	55,826	,000
	V_ist_ko	8126,388	1	8126,388	21,031	,001
	tilavuus_yht	9469,329	1	9469,329	21,761	,001
	keskipit93	20992,078	1	20992,078	130,928	,000
	kuoll93	2,604	1	2,604	,095	,764
xturve	ppa	49,421	1	49,421	5,954	,033
	keski_lpm	22,240	1	22,240	5,206	,043
	keski_pit	22,696	1	22,696	4,786	,051
	valta_lpm	28,168	1	28,168	2,957	,113
	valtapit	18,120	1	18,120	2,268	,160
	V_ist_ko	2724,469	1	2724,469	7,051	,022
	tilavuus_yht	2636,783	1	2636,783	6,059	,032
	keskipit93	538,130	1	538,130	3,356	,094
	kuoll93	43,690	1	43,690	1,589	,234
tuhka	ppa	42,447	1	42,447	5,114	,045
	keski_lpm	22,826	1	22,826	5,343	,041
	keski_pit	25,299	1	25,299	5,335	,041
	valta_lpm	33,706	1	33,706	3,538	,087
	valtapit	28,136	1	28,136	3,522	,087
	V_ist_ko	1881,974	1	1881,974	4,870	,049
	tilavuus_yht	1835,304	1	1835,304	4,218	,065
	keskipit93	39,608	1	39,608	,247	,629
	kuoll93	116,844	1	116,844	4,250	,064

**Hieskoivun pohjapinta-ala, keski- ja valtaläpimitta, keski- ja valtapituus  
runkotilavuus ko, runkotilavuus yht., kuolleisuus 1993, ainespuumäärä mittaajajankohdina**

torjunta	ppa	29,714	1	29,714	3,580	,085
	keski_lpm	13,733	1	13,733	3,215	,100
	keski_pit	16,460	1	16,460	3,471	,089
	valta_lpm	10,039	1	10,039	1,054	,327
	valtapit	7,946	1	7,946	,995	,340
	V_ist_ko	954,285	1	954,285	2,470	,144
	tilavuus_yht	654,944	1	654,944	1,505	,245
	keskipit93	210,422	1	210,422	1,312	,276
	kuoll93	36,649	1	36,649	1,333	,273
tuhka * tor- junta	ppa	1,321	1	1,321	,159	,698
	keski_lpm	,101	1	,101	,024	,881
	keski_pit	,064	1	,064	,013	,910
	valta_lpm	3,912	1	3,912	,411	,535
	valtapit	3,163	1	3,163	,396	,542
	V_ist_ko	62,624	1	62,624	,162	,695
	tilavuus_yht	82,372	1	82,372	,189	,672
	keskipit93	163,770	1	163,770	1,021	,334
	kuoll93	48,137	1	48,137	1,751	,213
Corrected Total	ppa	197,384	15			
	keski_lpm	102,958	15			
	keski_pit	112,660	15			
	valta_lpm	167,610	15			
	valtapit	135,430	15			
	V_ist_ko	9214,058	15			
	tilavuus_yht	9405,578	15			
	keskipit93	3034,860	15			
	kuoll93	513,240	15			

a. R Squared = ,537 (Adjusted R Squared = ,369)

b. R Squared = ,544 (Adjusted R Squared = ,378)

c. R Squared = ,537 (Adjusted R Squared = ,369)

d. R Squared = ,375 (Adjusted R Squared = ,147)

e. R Squared = ,351 (Adjusted R Squared = ,115)

f. R Squared = ,539 (Adjusted R Squared = ,371)

g. R Squared = ,491 (Adjusted R Squared = ,306)

h. R Squared = ,419 (Adjusted R Squared = ,208)

i. R Squared = ,411 (Adjusted R Squared = ,196)